ENEA

ENTE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E L'AMBIENTE

A cura di:

Sergio MARTELLUCCI, Angela ROSATI,
Francesco SCARAMUZZI, Vittorio VIOLANTE

FUSIONE FREDDA

STORIA DELLA RICERCA IN ITALIA

FOCUS 2008 TECNOLOGIE

VISIT…

FUSIONE FREDDA
Storia della ricerca in Italia

A cura di:
Sergio Martellucci, Angela Rosati, Francesco Scaramuzzi, Vittorio Violante

2008 ENEA
Ente per le Nuove tecnologie
l'Energia e l'Ambiente

Lungotevere Thaon di Revel, 76
00196 Roma

ISBN 88-8286-162-7

Il Comitato Editoriale del volume italiano non ha modificato i contributi ricevuti dagli autori e riportati nel presente volume, se non per uniformare la veste grafica dello stesso e per il loro inserimento nei Capitoli. Eventuali integrazioni e/o precisazioni che compaiono generalmente come note a pié di pagina sono state concordate con i rispettivi autori. Per tale motivo rimane responsabilità degli autori il contenuto dei loro scritti

FUSIONE FREDDA

Storia della ricerca in Italia

A cura di:
SERGIO MARTELLUCCI, ANGELA ROSATI,
FRANCESCO SCARAMUZZI, VITTORIO VIOLANTE

PRESENTAZIONE

LUIGI PAGANETTO
Presidente ENEA

Sono trascorsi circa venti anni dall'annuncio, da parte dei due Accademici Martin Fleishmann e Stanley Pons, dell'ottenimento di reazioni nucleari in reticoli metallici a temperatura ambiente.
Durante questi anni si sono svolte numerose conferenze nazionali ed internazionali e a Washington DC si svolgerà l'International Conference on Cold Fusion, giunta alla sua quattordicesima edizione. In occasione del Convegno verrà presentata la raccolta di volumi dedicata alla Storia della Fusione Fredda in tutti i Paesi che hanno contribuito allo sviluppo di questa disciplina dal 1989 ad oggi. Oltre ad Italia e Stati Uniti, anche Cina, India, Russia, Francia e Giappone hanno lavorato intensamente in questo campo. All'ENEA, ed in particolare al Presidente del Consiglio Scientifico dell'Ente, è stato affidato il compito di curare l'edizione della storia di questa ricerca in Italia, attraverso la raccolta dei racconti delle attività svolte dai singoli gruppi o laboratori che hanno operato nel settore.
Pochi anni dopo l'annuncio di Fleishmann e Pons furono i risultati di SRI (Stati Uniti) e dell'IMRA (Giappone) a far comprendere che il fenomeno della produzione di eccesso di potenza era un fenomeno a soglia, ossia fu compreso che non era possibile osservare il fenomeno se non veniva raggiunta una certa concentrazione di deuterio in catodi di palladio. Questa evidenza ha dato origine ad uno studio originale, condotto presso il Centro ENEA di Frascati, nel campo della scienza dei materiali. Gli studi si sono protratti per alcuni anni, alla fine dei quali è stato sviluppato, sulla base di considerazioni teoriche, un processo mediante il quale è possibile ottenere del palladio capace di rendere estremamente riproducibile il raggiungimento della soglia di concentrazione necessaria per poter osservare il fenomeno.
A seguito di questa evidenza è stata posta in essere una intensa collaborazione tra il gruppo ENEA ed alcuni Istituti statunitensi (SRI, Energetics e più recentemente NRL).
Le attività condotte in questo ambito hanno evidenziato che:

- i guadagni di energia misurati risultavano essere, in genere, molto superiori a quelli ascrivibili a tutti i processi chimici che possono aver luogo in una cella elettrochimica del tipo di quelle utilizzate negli esperimenti;

- l'effetto della produzione di eccesso di potenza si osservava solo con deuterio e non con idrogeno;
- i risultati sperimentali, utilizzando gli stessi materiali (catodi di palladio prodotti in ENEA), erano gli stessi nei tre laboratori, nonostante venissero utilizzate strumentazioni calorimetriche differenti. Fu così ottenuto un significativo livello di riproducibilità trasferita.

Queste evidenze, che puntavano nella direzione del fenomeno di natura nucleare, hanno creato le condizioni affinché venissero svolti due programmi di ricerca, con fondi governativi, uno statunitense ed uno italiano.
I due programmi condotti in stretta collaborazione hanno ottenuto risultati superiori a quelli fissati come obiettivi della ricerca.
L'importanza dei risultati, comunque, non risiede soltanto nel fatto che la riproducibilità è stata più che soddisfacente e che le misure effettuate nei diversi laboratori si sono collocate ordini di grandezza al disopra dell'incertezza di misura, ma risiede anche nella verifica reciproca dei risultati fondata sul dato che solo specifici lotti di materiale, preparati in ENEA, hanno fornito evidenze di produzione di eccesso di potenza nei due Istituti: ENEA ed SRI.
In altre parole, due programmi governativi, condotti in stretta interazione, con revisione dei risultati, hanno dimostrato l'esistenza del fenomeno in termini non riconducibili ad un processo di natura chimica.
Questo è da considerarsi un punto di partenza, i risultati ottenuti obbligano a continuare il percorso scientifico già intrapreso con l'obiettivo di pervenire ad una completa definizione del fenomeno oggetto dello studio.
Negli Stati Uniti è prevista una fase ulteriore di sviluppo della ricerca e per essa è previsto un supporto governativo. Considerati i risultati raggiunti dai ricercatori dell'ENEA, l'impegno dell'Ente è di continuare a condurre le ricerche su questo tema, nell'ambito di un programma di cooperazione con Istituti internazionali di eccellenza, "conditio sine qua non" per il conseguimento di risultati di grande valenza scientifica.

INDICE

Prefazione 1
Sergio Martellucci
Presidente Consiglio Scientifico ENEA - Roma

1. STORIA DELLA FUSIONE FREDDA IN ITALIA

1.1 Introduzione 11

1.2 Cold Fusion Research in Italy at the ICCF3 (1993) 13
Francesco Scaramuzzi
ENEA - Frascati

1.3 Dieci anni di fusione fredda: una testimonianza diretta 21
Francesco Scaramuzzi
ENEA - Frascati

2. RICERCA NEI DIPARTIMENTI ENEA

2.1 Introduzione 49

2.2 La Fusione Fredda all'ENEA di Frascati dal 1989 al 1998 53
Francesco Scaramuzzi
INFN - Laboratori Nazionali Frascati

2.3 Attività sulla Fusione Fredda svolta a Frascati e alla "Texas A&M University" per la misura di calore, in un'attività di collaborazione 69
Aurelio La Barbera
ENEA - Casaccia

2.4 Ricostruzione storica delle attività sulla Fusione Fredda in ENEA 75
Antonella De Ninno e Antonio Frattolillo
ENEA - Frascati

2.5 Storia della Fusione Fredda in Italia e collaborazioni internazionali 89
Vittorio Violante
ENEA - Frascati

2.6 Caricamento gassoso a basse temperature 101
Francesco Scaramuzzi
INFN - Laboratori Nazionali Frascati

3. RICERCA NEI LABORATORI CNR

3.1 Introduzione 105

3.2 Misura dei parametri reticolari durante il caricamento del palladio 107
A cura di Francesco Scaramuzzi
INFN - Laboratori Nazionali Frascati

3.3 Una possibile spiegazione del processo della Fusione Nucleare fredda 111
A cura di Sergio Martellucci
Consiglio Scientifico ENEA - Roma

4. RICERCA NELL'INFN (Laboratori Nazionali e Sezioni)

4.1 Introduzione 113

4.2 Comprensione dei fenomeni di Fusione Fredda 115
Renato Angelo Ricci, Francesco De Marco e Elio Sindoni
INFN - Laboratori Nazionali di Legnaro - Padova

4.3 Esperimenti di cosiddetta Fusione Fredda (1989-2007) 119
Francesco Celani
INFN - Laboratori Nazionali di Frascati

4.4 Search for neutron emission from titanium-deuterium systems 141
Corrado Boragno, Roberto Eggenhoffner, Paolo Prati, Giovanni Ricco, Mauro Taiuti, Ugo Valbusa
Università di Genova - Dipartimento di Fisica

4.5 Relazione sull'attività di ricerca a Catania sulla cosiddetta "Cold Fusion" 153
Marcello Baldo, Fulvio Frisone e Augusto Scalia
INFN - Catania/Università di Catania - Dipartimento di Fisica ed Astronomia

4.6 Sistemi di Pd caricati con D_2 e H_2 gassosi e irradiati da fasci laser 157
Antonella Lorusso e Vincenzo Nassisi
Università di Lecce - Dipartimento di Fisica

5. RICERCA NELLE UNIVERSITÀ (Istituti, Dipartimenti e Sezioni INFM)

5.1 Introduzione 165

5.2 Il dialogo tra la teoria della coerenza e la fusione fredda 167
Emilio Del Giudice
INFN - Milano

5.3 Un effetto anomalo in sistemi Ni-H tra 200 e 400 °C non di origine chimica o elettrochimica 173
Sergio Focardi e Francesco Piantelli
I.M.O. Bologna e Siena

5.4 Raggi X, eccesso di calore e ^{4}He nel sistema Pd/D 187
Daniele Gozzi, Riccardina Caputo, Fabio Cellucci, Pierluigi Cignini, Guido Gigli, Massimo Tomellini, Salvatore Frullani, Franco Garibaldi, Evaristo Cisbani, Guido Maria Urciuoli
Università "La Sapienza" e "Tor Vergata"
Istituto Superiore di Sanità- INFN - Roma

5.5 Studio delle LENR presso Accademia Navale di Livorno 197
Lino Daddi
Accademia Navale - Settore Fisica - Livorno

6. RICERCA NEI LABORATORI INDUSTRIALI

6.1 Introduzione 199

6.2 L'attività del Gruppo Pirelli nel campo della Fusione Fredda 201
Fabio Fontana, Luigi Gamberale e Daniele Garbelli
Pirelli Labs SpA - Milano

6.3 L'attività nel campo della Fusione Fredda in STMicroelectronics 203
Ubaldo Mastromatteo
STMicroelectronics - Milano

6.4 La Fusione Fredda presso ORIM SpA 217
Alfredo Mancini
ORIM SpA - Macerata

PREFAZIONE

SERGIO MARTELLUCCI

Presidente Consiglio Scientifico ENEA - Roma

In questo Volume si descrive la storia della ricerca in Italia che è stata stimolata dalla più singolare scoperta scientifica degli ultimi decenni del secolo appena trascorso, la cosiddetta "Fusione Fredda".

Il 23 marzo del 1989, l'Università dello Utah, USA, annunciò i risultati di un esperimento condotto dai professori di elettrochimica Martin Fleischmann e Stanley Pons che avevano ottenuto in una cella elettrochimica, di dimensioni "*table top*", reazioni di fusione nucleare tra nuclei di D a bassissimi livelli di energia, e una generazione di un inspiegabile eccesso di energia termica senza l'emissione di radiazioni potenzialmente pericolose, che risultava del tutto inaspettata perché di livello enormemente più elevato di quello attribuibile ai fenomeni esotermici sia chimici che fisici prevedibili in quel tipo di esperimento.

Quell'esperimento è stato replicato con alterno successo in molti laboratori in tutti i paesi del mondo. Gli insuccessi e la mancanza di riproducibilità nei vari esperimenti, hanno prodotto intorno a questo fenomeno un diffuso scetticismo rapidamente subentrato all'eccesso di interesse del mondo scientifico che si era immediatamente sviluppato intorno ad esso.

A quasi vent'anni di distanza dall'esperimento stesso, tuttavia, la ricerca sulla Fusione Fredda ha fatto notevoli passi avanti sia sperimentali che teorici, cosicché questa scienza empirica ha recuperato una sua credibilità ed è nota oggi come lo studio di reazioni nucleari di bassa energia (Low Energy Nuclear Reactions, LENR), un settore della fisica nucleare della materia condensata.

Il Consiglio Scientifico dell'ENEA, insediato dal Presidente Carlo Rubbia l'8 febbraio 2005, ha acquisito, attraverso un'indagine conoscitiva, le informazioni sulla ricerca sulla Fusione Fredda condotte in ENEA, che sono riassunte nel paragrafo 3.6 della "Relazione del Consiglio Scientifico sulle attività programmatiche dell'ENEA presenti e future" del maggio 2006, riprodotte nelle note introduttive al Capitolo 3, alle quali si rimanda il lettore.

Successivamente, nell'anno 2006, come riportato nel Progress Report 2006 di Nuclear Fusion an Fission, and Related Technologies Department, ENEA-Frascati (Roma), p. 149-151: "…. *Prestigious institutions have been working in this field and some have cooperated successfully. It was discovered (D9, D10)*[1] *that the phenomenon of excess power production was a threshold effect occurring only if the average deuterium concentration in the palladium lattice was not less than 0.9 (atomic fraction). Studies performed at ENEA Frascati highlighted the fact that the high loading of deuterium in the lattice was not reproducible when using commercial palladium. Hence, a wide material-science study was carried out to produce a metal with a proper metallurgical structure, capable of giving a very high deuterium concentration during electrochemical loading.*

Under contract agreements ENEA delivered cathodes prepared with such a particular palladium to SRI International (California USA) and Energetics Ltd. (US company with a research centre in Israel). A reasonable level of transferred reproducibility was achieved by the three groups and this was one of the reason for promoting a two-phase research project with government funding in the USA to revisit the "cold fusion effect". ENEA was involved in the programme as ENEA cathodes were selected for the research. During the first phase SRI International was charged with replicating the results obtained with ENEA's cathodes and with the calorimeters used by Energetics Ltd. Phase 1 was concluded at the beginning of 2007 with results well above the objectives defined by the US Government referees, and continuation of the project towards Phase 2 was approved. In the second phase, the US Naval Research Laboratory is also involved in replicating the experiments.

The Italian Ministry of Economic Development (MSE) supported a two-year project (Produzione di Eccesso di Potenza in Metalli Deuterati) to improve the material science study and to gain an enhanced signal/noise ratio. Material science studies have been extended to surface physics aspects and to interphase physics, with the involvement of the University of Rome La Sapienza.

---

[1] D9 – M. McKubre et al., *Excess power observation in electrochemical studies of the D/Pd system; the influence of loading,* Proc. 3rd Inter. Conference on Cold Fusion (Nagoya 1992) p. 5

D10 – K. Hunimatsu et al., *Deuterium loading ratio and excess heat generation during electrolysis of heavy water by a palladium cathode in a closed cell using a partially immersed fuel cell anode,* Proc. 3rd Inter. Conference on Cold Fusion (Nagoya 1992), p. 31

The Italian project began in January 2006 and overlapped Phase 1, so the two projects have been developed in parallel. During this period both ENEA and SRI International gained a reproducibility not less than 60% with a signal/noise ratio well above the measurement uncertainty…

…. The amount of energy gain and the occurrence of the effect with deuterium and not with hydrogen point in the direction of a nuclear fusion reaction between two deuterons producing, in the lattice, ^{4}He and heat. This is in agreement with preliminary measurements of ^{4}He(D11-D14)[2], which reveal an increase in the concentration above the ambient level, consistent with the energy gain.

In 2005 a very positive co-operation was started in the field of materials science with the Materials Branch of the Naval Research Institute of Washington DC. This ongoing research activity is funded by the Office of Naval Research Global (ONRG), London UK, and an important experiment has already been carried out at the Brookhaven National Laboratory, USA. X-ray diffraction was performed during electrochemical loading of cathodes prepared at ENEA in order to study the palladium hydride (deuteride) in the so far unexplored region of loading above H(D)Pd>1.The experiment was concluded successfully by collecting more that 240 spectra.

The support received by MSE has made it possible to extend the material science study by performing a systematic characterisation of the surface of cathodes on the basis of the atomic force microscopy (AFM) and scanning electron microscopy (SEM) analyses …

…..The SEM and AFM analyses revealed some differences in the samples. A specific work devoted to identifying the correlation between excess of heat and the characteristics of the sample, now in progress, should lead to identification of the characteristics of the rough material capable of producing Pd cathodes with a further increasing of the reproducibility of excess power production."

---

[2] D11 – V. Violante et al., *Some recent results at ENEA*, Proc. XII Inter. Conference on Cold Fusion (Yokohama 2005), p. 117
D12 – D. Gozzi et al., J. Electroanal. Chem. 452,253 (1998)
D13 – M. McKubre et al., *The emergence of a coherent explanation for anamalies observed in D/Pd and H/Pd systems : evidences for ^{4}He and ^{3}H production,* Proc. VIII Inter. Conference on Cold Fusion (Lerici 2000), p. 3
D14 – M. Miles et al., J. Electroanal. Chem. 346, 99 (1993)

Al compimento della Fase 1 citata nel Progress Report sopra riprodotto, la SRI International inviò al Presidente ENEA, Prof. Luigi Paganetto, succeduto al Prof. Carlo Rubbia, una lettera di cui si riportano i due stralci che seguono:

"*...Together with ENEA, Energetics and NRL (The US Naval Research Laboratory), we have just finished Phase I of what may prove to be a milestone forward step in condensed matter nuclear research. The team has successfully replicated at SRI experiments initially performed by Energetics in Israel. Our results were reviewed two weeks ago by DARPA (The US Defense Advanced Research Projects Agency, Washington DC) and other government scientists. We reported very high levels of power gain (heat out / energy in) and high levels of reproducibility that were not imaginable as little as a year ago. A full report on this phase of activity is now complete and I will submit it formally next week to my DARPA contract manager. In addition to the obvious contributions of Energetics and superwaves, a very large part of what must be considered a major scientific success is due to the control of palladium metallurgy developed and exercised by Dr. Violante at ENEA Frascati. This contribution is recognized not only at SRI but also at NRL where new collaborations are developing, and now at DARPA. Dr. Violante and I have worked in formal collaboration between SRI and ENEA now for over a decade. I hope this is only the beginning.*

Based on the success of Phase I it is expected that the US government will shortly move to an expanded Phase II. In this second round we plan to include with SRI and Energetics, both NRI and ENEA, representing prestigious government institutions on two continents. This design is to perform intentionally identical experiments in the different laboratories. The hoped for object is to obtain similar results in the participating laboratories that will form the basis of a joint publication that can begin to dispel the criticism that nuclear effects in condensed matter are "not reproducible". This ability to transfer reproducibility would confirm the reality of an effect the existence of which has been questioned for 18 years. ENEA is a crucial component of this planned second phase. Not only has Dr. Violante established a unique level of mastery over the metallurgy of palladium foils that we will need to succeed, he is also familiar with the needed calorimetry and has already performed successful heat producing experiments.

A seguito di tale richiesta il Consiglio Scientifico dell'ENEA, su incarico della Presidenza, ha organizzato il 3 luglio 2007 un incontro per discutere le modalità della collaborazione proposta, con la partecipazione, oltre che di ENEA, di LNR Energetics, SRI International, NRL e l'Università "La Sapienza" di Roma (v. lista dei partecipanti riprodotta di seguito).

Prof. Luigi Paganetto	*Presidente ENEA*
Ing. Giovanni Lelli	*Direttore Generale ENEA*
Prof. Sergio Martellucci	*Presidente Consiglio Scientifico ENEA*
Dr. Mauro Basili	*Assistente Presidenza ENEA*
Dr. Alberto Renieri	*Direttore Dipartimento FPN-FUS*
Ing. Aldo Pizzuto	*Direttore Sezione Tecnologie FUS*
Dr. Graham Hubler	*Head of the Materials & Sensors Branch, Naval Research Laboratory Washington D.C. USA*
Prof. Michael Melich	*Professor at Post Graduate School of Navy USA, SRI Consultant*
Mrs. Alison Godfrey	*C.E.O. Energetics Technologies NJ USA*
Prof. Mario Bertolotti	*Dip. Energetica Univ. La Sapienza*
Prof.a Concita Sibilia	*Dip. Energetica Univ. La Sapienza*
Dr. Vittorio Violante	*FPN-FUS-TEC ENEA Frascati*
Dr.a Francesca Sarto	*FPN-FUS-TEC ENEA Frascati*

In occasione, poi, del Convegno Internazionale sulla Fusione Fredda di Catania (Italia) il Prof. Melich ha informato Vittorio Violante e me stesso, nella sua funzione di Organizzatore della prossima Conferenza Internazionale della Fusione Fredda (ICCF-14) che si svolgerà a Washington D.C. ad agosto 2008, del fatto che il programma prevede che, in occasione di questa manifestazione, rappresentanti dei vari paesi che hanno svolto attività in questa disciplina, contribuiscano a dare informazioni sulla storia della ricerca sulla Fusione Fredda nel proprio paese, inviando un volume, in lingua originale del paese, di cui, a cura degli Stati Uniti, verrebbe poi prodotta la versione inglese da pubblicare in occasione della Conferenza successiva a quella di Washington che si terrà nel 2009, 20° anniversario della scoperta della Fusione Fredda, in una collana di volumi che illustrino la "Storia della Fusione Fredda nel mondo". I contatti avuti dal Comitato Organizzatore della Conferenza di Washington con esperti del settore in tutto il mondo fanno prevedere che la collana completa sarà costituita da 8 volumi contenenti la storia della ricerca sulla Fusione Fredda in: Cina, Francia, Giappone, India, Italia, Regno Unito, Russia e Stati Uniti.

Per l'Italia, il Prof. Melich ha chiesto al Consiglio Scientifico dell'ENEA di farsi carico dell'iniziativa. Con il consenso del Presidente dell'ENEA, il Consiglio Scientifico ha accettato con entusiasmo di svolgere il ruolo richiesto potendo contare sulla professionalità della Dr.a Angela Rosati della Segreteria del Consiglio Scientifico, contattando subito per richiedere i loro contributi tutti i ricercatori attivi in questo settore presenti nelle "mailing list" dell'Ente.

Una prima bozza del volume "Storia della Fusione Fredda in Italia" è stata presentata e discussa insieme ai Membri dell'International Editorial Board statunitensi in una riunione tenutasi a Roma il 4 febbraio 2008 (v. lista dei partecipanti ed agenda, riprodotta di seguito).

"ITALIAN COLD FUSION HISTORY" MEETING

MONDAY February 4, 2008 – 9.30 a.m.

ENEA Headquarters Lungotevere Thaon di Revel, 76 - Rome

5th floor – Scientific Council Hall

Prof. Luigi Paganetto	*Presidente ENEA*
Ing. Maurizio Urbani	*Direttore Generale ENEA*
Prof. Michael Melich	*Professor at Post Graduate School on Navy - USA*
Prof. Faqir Khanna	*University of Alberta - Canada*
Prof. Claus Rolfs	*University of Bochum – Germany*
Prof. Edward Eyring	*University of Utah – Salt Lake City, UT – USA*
Prof. Sergio Martellucci	*Presidente Consiglio Scientifico ENEA (Roma)*
Prof. Francesco Scaramuzzi	*INFN – Frascati (Roma)*
Dr. Vittorio Violante	*ENEA – Frascati (Roma)*

AGENDA

1. *Opening of the meeting*
2. *ICCF – 15, 20th Anniversary Series – Site proposals*
3. *Italian Cold Fusion History*
   - *3.a) Format of the volume*
   - *3.b) Draft Definition of the Fleischmann-Pons Effect(FPE)*
   - *3.c) Extent of the field spawned by the Fleischmann-Pons announcement*

4. *Commissioned Topical Reviews*
5. *Closing of the meeting*

Rinviando gli eventuali interessati a conoscere i risultati di questo incontro al verbale della riunione stessa, già comunicato agli autori dei contributi per il volume italiano, ricordiamo qua i punti più rilevanti.

3. "Italian Cold Fusion History":

Il Prof. Melich ricorda che:

a) La collana dei volumi "Storia della Fusione Fredda" nelle varie nazioni dovrà essere pronta per essere tradotta in lingua inglese e stampata per distribuirla in occasione del ICCF-15, che coincide con il ventennale del primo esperimento di Fusione Fredda di Fleischmann e Pons nel marzo del 1989.

b) Questa riunione di Roma precede quelle che lui si appresta a tenere a Londra, Mosca, Cina e Giappone, per sollecitare la preparazione di un numero di volumi compreso tra 5 e 8 essendo queste le nazioni che hanno contribuito alla ricerca nel settore della Fusione Fredda. I suoi sponsors statunitensi finanzieranno la pubblicazione dell'intera serie di volumi in inglese ivi incluse le spese di traduzione dalle varie lingue in inglese e viceversa, ove richiesto.

3.a) Format of the volume

Il Prof. Martellucci illustrando la bozza del volume già distribuita ricorda che:

a) l'Editorial Board italiano è costituito da lui stesso, come presidente del CS ENEA, Francesco Scaramuzzi – Associato INFN, Frascati Roma, Vittorio Violante – ENEA, Frascati, Roma – e la Dr.a Angela Rosati – Segreteria CS ENEA.

b) I contributi ricevuti sono stati inseriti nel volume subito dopo una Prefazione di S. Martellucci, un'Introduzione storica di F. Scaramuzzi, suddivisi in contributi forniti da: ENEA, CNR, INFN, Università e Laboratori di Ricerca Industriali.

c) Il volume presenta ancora delle mancanze che vengono ritenute rilevanti (ad es. i contributi di Bressani - Torino e di Mengoli - Padova che dovranno essere sollecitati a fornire al più presto i loro contributi); e di un accurato editing scientifico per assicurarne la attendibilità e l'omogeneità con gli altri volumi della serie.

3 b) Draft Definition of the Fleischmann-Pons Effect(FPE)

La definizione dell'effetto di Fleischmann e Pons viene stabilito dover essere riportata nella prefazione di ciascun volume della serie nella forma seguente: "***The Fleischmann-Pons effect is the production of heat in a hydrogen-in-metal system under unusual circumstances of very high densities of hydrogen. The observed amount of heat produced is at least 1000 times the energy and power densities (Joules or watts per cubic centimeter of the metal) and this is not available in known chemical systems. Also associated with this heat is the production of helium 4 at levels that account for the heat if each atom of He is associated with 20-30 million electron volts of energy. A small amount of tritium, the mass three isotope of hydrogen, and x-rays of energy around 1.5 KeV are also observed."***

Nei volumi in lingua originale tale definizione dovrà comparire nella stessa lingua della nazione e le spese di traduzione potranno essere rimborsate dagli sponsor americani. Alla stessa maniera la traduzione di contributi forniti in lingua inglese dovranno essere tradotti in italiano, nel caso dell'Italia, sempre a spese dello sponsor americano.

3 c) Extent of the field spawned by the Fleischmann-Pons announcement

Nella conferenza di Washington si proporrà una definizione più precisa di quella attualmente esistente per definire i campi scientifici di ricerca cui la Fusione Fredda afferisce.

Inoltre è stato convenuto con i Colleghi statunitensi di rivedere il format della bozza del volume da inviare negli Stati Uniti in occasione della Conferenza di Washington:

1. Il volume, in formato elettronico, potrà contenere i contributi sia in lingua italiana (preferibilmente), ma anche in lingua inglese, onde evitare eventuali traduzioni da italiano in inglese che non si potrebbe essere sicuri di poter controllare.
2. Onde evitare ripetizioni che renderebbero eccessiva la lunghezza del volume, di norma non saranno riprodotti interi articoli già pubblicati su altre riviste, di cui potranno però essere riprodotti gli *abstract*.
3. I contributi sono raggruppati seguendo un criterio legato all'appartenenza istituzionale degli autori, nella forma riportata nell'indice del volume.

Nella stessa riunione è stata infine accolta dai colleghi statunitensi la richiesta del Consiglio Scientifico ENEA di nominare il Prof. Francesco Scaramuzzi membro dell'International Editorial Board dell'iniziativa in rappresentanza dell'Italia.

Seguendo gli accordi presi con i colleghi nell'incontro di Roma, nel volume dopo questa Prefazione, che intende illustrare al lettore il motivo di questa iniziativa editoriale, evidenziando anche il ruolo svolto in questo campo di ricerca dall'Ente Nazionale per l'Energia e l'Ambiente, ENEA, sono riportate, precedute da brevi note illustrative scritte da me stesso:

- una Introduzione, in cui sono riprodotti articoli, già scritti nel recente passato da Francesco Scaramuzzi, che illustrano l'evoluzione storica di questo settore di ricerca;
- la Ricerca nei Dipartimenti ENEA, nella sua evoluzione a partire dal 1989 ad oggi;
- la Ricerca nei Laboratori del Consiglio Nazionale delle Ricerche, CNR, sia sperimentale che teorica, svolta prevalentemente da ricercatori chimici e fisici;
- la Ricerca nell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, INFN, sia nei Laboratori Nazionali dell'Ente che nelle sue Sezioni universitarie:
- la Ricerca nelle Università, includendo gli Istituti, i Dipartimenti e le Sezioni dell'Istituto Nazionale Fisica della Materia, INFM, ospitate presso le sedi Universitarie italiane; e
- la Ricerca nell'Industria, tra cui abbiamo scelto, come esempio, i contributi inviati da industrie ancora attive nel settore.

Terminiamo ricordando che il Comitato Editoriale del volume italiano non ha modificato i contributi ricevuti dagli autori e riportati nel presente volume, se non per uniformare la veste grafica dello stesso e per il loro inserimento nei Capitoli appena menzionati. Eventuali integrazioni e/o precisazioni che compaiono generalmente come note a piè di pagina sono state concordate con i rispettivi autori. Per tale motivo rimane responsabilità degli autori il contenuto dei loro scritti.

A nome del Comitato Editoriale esprimo infine i miei ringraziamenti a tutti coloro che hanno voluto contribuire alla riuscita di questa iniziativa editoriale.

CAPITOLO 1
STORIA DELLA FUSIONE FREDDA IN ITALIA

(A cura di ***SERGIO MARTELLUCCI****)*

1.1. Introduzione

In questo Capitolo sono riprodotte alcune pubblicazioni del Prof. Francesco Scaramuzzi, che ha diretto la ricerca sulla Fusione Fredda in ENEA dal 1989 sino al suo pensionamento, ed è ora ancora attivo in questo settore di ricerca presso i Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN.

Il Prof. Francesco Scaramuzzi, su proposta del Consiglio Scientifico ENEA, è stato nominato Membro del Comitato Editoriale Internazionale della Collana dei volumi sulla "Storia della Fusione Fredda nel mondo".

In queste sue pubblicazioni il lettore troverà l'evoluzione storica degli esperimenti sulla Fusione Fredda condotti in Italia, insieme alla descrizione degli stati d'animo degli stessi ricercatori alle prese con questi nuovi fenomeni.

1.2. Cold Fusion Research in Italy[1] at the ICCF3 (1993)

FRANCESCO SCARAMUZZI
ENEA - Frascati

The strange geography of Cold Fusion

In the last three and a half years many experiments have been performed in the field known with the conventional name of "Cold Fusion" (CF), and a number of theories have attempted to interpret them and to assess them in a coherent picture. Differently from other fields in Science, this area has grown in a quite strange atmosphere: the most striking aspect of it is the anomalous "geography" of the activities, meaning by this term the different kind of development that research activities in this field have had in different countries.

Before outlining this geography, it could be worth trying to envisage the causes of this anomalous behaviour. One important feature is indeed the difficulty in reproducing most of the experiments in the field. Of course, this feature can be interpreted in positive as a proof of the great complexity of the phenomena under investigation, and in negative as the demonstration that the claimed effects do not exist. Both positions have been brought forward and are still existent: the increasing number of good quality positive experiments, and the improvements in reproducibility seem not to have changed the prevalent scepticism of the scientific community. Anyway, the lack of reproducibility is not the only cause of the scepticism: other features concur in creating it. In particular, the fact that the observed phenomena, if interpreted as nuclear phenomena in condensed matter, cannot be explained by the presently accepted knowledge on nuclear physics. Most striking of all, the experiments showing the production of "excess heat" pose a very intriguing problem: the large amount of energy produced cannot be explained in terms of any known chemical reaction; at the same time, the missing emission of energetic particles (neutrons, tritons, etc.) is in contrast with the expectations of nuclear reactions between energetic nuclei in quasi-vacuum (e.g., plasma), the only ones that are well known presently.

---

1 ICCF3 (1993). *Frontiers of Cold Fusion.* In: Ikegami, H. (Ed.), Proceedings of the *Third International Conference on Cold Fusion,* Nagoya, Japan, October 21-25, 1992, published by Universal Academy Press, Inc., Tokyo.

All these features are at the basis of the scepticism, which is the cause of the "strange geography"; this will be briefly described in the following.

Even though it is difficult to perform a clear classification among the countries, an attempt is made to identify groups with similar behaviours.

- The first group consists of the countries in which an official and substantial research activity is going on, with continuous interactions among operating groups. In this group *Japan* excels, counting also on the commitment of Industry and, more recently, of Government (Ministry of International Trade and Industry, MITI). *Russia* (better, the former USSR) , *China* and *India* can be assigned to this group as well.
- The development of CF in the *USA* puts this country in a very peculiar position. On one side there are many scientists active in the field, as it is witnessed by the large number of participants to this Conference (55), second only to Japan. On the other side, it has to be noted that, with the important exception of EPRI (Electric Power Research Institute), no Federal Agency, nor University, is substantially funding research in CF.
- As far as Europe is concerned, *Italy* and, to a lesser extent, *Spain* perform a consistent activity, with moderate funding by state Agencies and/or Universities. The activity in Italy, third for number of participants to this Conference (20), is the subject of this paper, and will be treated in more detail in the following.
- The most striking feature in this "geography" is the almost total absence of research activities in the rest of *Europe*. Here, after the negative results obtained in the experiments performed in the spring-summer of 1989, mostly under the request of Euratom, every interest in CF seems to have disappeared.

Italian Agencies and Universities active in Cold Fusion

In fact, Italy could also belong to the first group, since many Agencies and Universities are moderately funding research in CF, and the scientists involved in this field have made a few attempts to coordinate each other, organizing meetings and conferences, both national and international (Varenna in 1989, Frascati in 1990, Como in 1991, Torino in 1992).

However, up to now the activity has been mostly the fruit of the personal initiative of the scientists, and never a coordinated proposal of Agencies and Universities. No position on the scientific validity of the subject has been officially taken and the funds dedicated to CF have been rather modest.

The Agencies are the following:

- INFN (National Institute for Nuclear Physics): it is dedicated to fundamental studies in nuclear and subnuclear physics, and is strongly connected with Universities all around the Country. Most of the funding to CF in Italy comes from this Agency, and is particularly dedicated to the development of sophisticated nuclear detectors.
- CNR (National Research Council): it is the State Agency for Research and operates in all fields of Science, mostly through its own Research Institutes but also through funding of other research institutions, such as Universities. It has contributed to CF mostly through its Chemistry Committee.
- ISS (National Institute for Health): it is an Agency with a wide range of interests in Science, performing research mostly aimed to solve problems of health. Its Physics Laboratory is funding research in CF.
- ENEA (Agency far New Technologies, Energy and Environment): formerly the State Agency far Nuclear Energy, it has been recently restructured with the assignment of wider research tasks. After the first success of a Frascati Group in 1989, research in CF has been performed on a modest resource level and mostly on voluntary basis: recently the new Board of Administration has expressed an interest in the field, that hopefully will bring to a serious commitment of this Agency in CF.
- Various Universities participate to research activities, most of them in collaboration or with the funding of the above Agencies: among them the Universities of Torino, Milano, Padova, Trieste, Bologna, Roma 1, Catania.
- Up to now Industry has been totally absent in this field.

In order to have a feeling about the amount of investments in Italy on CF, the figure referring to 1992 amounts to about 0.5 million dollars, not including expenses for personnel. A number of about 10 scientists, mostly working part-time, is committed all around the Country in research on CF.

Italian Research on Cold Fusion

The Italian participation to this Conference is a good representation of the research going on in this field, even though some active groups did not send contributions. Eleven abstracts were submitted and were accepted for presentation to ICCF3, coming from nine groups. The experimental papers range from gas loading to electrolysis, from nuclear particle detection to heat excess measurement. There is also a substantial contribution of theoretical papers. Eight of the papers were eventually presented at ICCF3, and the reader will find them in these proceedings. [1-8]Three of the papers have not been submitted, for the impossibility of the authors to attend 1CCF3: they are all theoretical papers, and will be shortly described hereafter.

- The first (authors A. Tenenbaum and E. Tabet, of INFN, ISS and University of Rome 1) investigates a mechanism of D-D fusion taking place in the lattice of a metal undergoing rapid thermal transients: the abrupt release of elastic energy stored in the metal during the absorption of deuterium could produce micro-hot fusion, which could explain the detection of nuclear particles in gas loading experiments.[9]
- The second (author A. Scalia, of the University of Catania) investigates the behaviour of the fusion cross-section, as a function of the energy of the nucleons, for very low energies. [10]
- The third (authors L. Fonda of the University of Trieste, and G.L. Shaw of the University of California at Irvine) analyzes the hypothesis that CF could be catalysed by a not confined quark compound.[11]

Among the activities not presented at all at ICCF3, two are worth mentioning: that one of a Padova Group, and that one of a Bologna Group. Their most relevant results will be shortly outlined hereafter.

- Padova (CNR and University): two main kinds of experiments have been performed:
  - Study of the dynamics of D and H-charging in Pd sheets (gas loading), as a function of temperature, reaching D/Pd ratios in the range 0.8-0.9; when working with D, a quite substantial emission of charged particles has been detected with the help of CR-39 detectors, amounting, if interpreted as D-D fusions, to 10^{-19} fusions per second per couple of deuterons.[12]
  - The detection of neutrons emitted by D-charged Ti plates (gas loading), under vacuum after temperature cycles, measured with an

advanced detector, has shown the emission of neutron bursts, clearly above background, with energies of about 2.5 MeV.[13]

- Bologna (INFN and University): experiments on the detection of neutrons from D-charged Pd (electrolysis) and Ti (gas loading) have been performed extensively under the Gran Sasso Laboratory of INFN, a well equipped Laboratory more than 1000 m under ground, where the background of neutrons is about one thousandth of the value at sea level. A particularly advanced detector system has been developed, able to clearly discriminate neutrons from gamma's, with a time resolution in the order of 10 ns, and the ability to measure the energy of the neutrons. None of the experiments performed up to now has shown the emission of neutrons that could be ascribed to CF effects.[14]

Some relevant results

Among the many results in CF research contributed by the Italian scientific community, two of the experiments presented at this Conference deserve a particular mention, and will be recalled in the following.

- The experiment by B. Stella et al.[5] performed in the Gran Sasso Laboratory of INFN, in which a sample of deuterated Pd has been stimulated with a neutron flux, while the emission of neutrons was detected at right angle with the neutron beam. The result is qualitatively interesting: it is possible to state that the rate of neutron emission, when the D-charged Pd is stimulated, is higher than the rate obtained with Pd without D. This seems to be a clear indication that the combination of the two, Pd and D, is responsible for nuclear reactions that manifest themselves with the emission of neutrons, confirming the role of the lattice in this new kind of nuclear events.
- The experiment by L. Bertalot et al.[8] performed at the ENEA Centre of Frascati has provided a novel approach to the heat excess experiments in heavy water with Pd cathode. Taking a couple of features from the Takahashi experiment (see also this Conference), i.e. the "hi-lo" technique and the flow calorimeter, this experiment tries to address the problem of the motion of D atoms in the Pd lattice at high D/Pd ratios. In order to do so, the cathode is mounted in such a way as to face on one side the electrolytic cell and on the other D_2 gas: measuring the permeation of the gas into or out of the cathode seems to be a powerful tool to investigate the heat excess production. The experiment

provides a quite convincing confirmation of the heat excess production, with maxima up to about 10 times the heat input at low currents, and to 100% of the heat input at high currents, and presents stimulating correlations between the heat produced and some meaningful parameters, such as the period of the hi-lo procedure, the over potential across the cell, and the D-permeation into the cathode. A transport model, also presented at ICCF3[2] ,nicely interprets these correlations.

Among the contributions of the Italian community to CF research it has to be remembered the theory of G. Preparata et al.,[15] which, with a very interesting approach, tries to explain the most intriguing issue in CF, i.e. the possible nuclear nature of the heat excess. Preparata's theory invokes a collective and coherent interaction between the D-nuclei and the plasmas in the lattice (electrons and nuclei), to justify the high rate of D-D fusions and the transformation of the mass defect energy of the reaction into heat, rather than in the well known processes taking place at high energy and in quasi-vacuum.

Conclusions

The lack of official commitment and effective support by the Research Agencies and by the Universities has not prevented Italian scientists from being quite active in performing research in CF. On the other side, it has to be acknowledged that no formal vetoes have been interposed to the free initiative of scientists in this field: on the contrary, some of the Agencies and Universities have moderately funded such an effort.

The quality of the experiments performed in Italy has been increasingly good, and the results obtained are rather outstanding in the general panorama of CF. But it is time to perform a more coordinated effort, keeping in mind that material science aspects, such as the characteristics of the materials used, play a very important role in the development of this topic. Thus, a much more intense effort is required in order to obtain a more substantial progress in the field.

The increasingly convincing results obtained by the whole CF community (this Conference has been particularly comforting in this respect), and the example of the Japanese Government and Industry, which appear to be determined to promoting research in this field, have changed the panorama of CF. There are now signs that also the Italian scientific authorities could consider favouring research in this field in the near future.

References

1. G. PREPARATA (INFN and University of Milano), *Theory of Cold Fusion in Deuterated Palladium, this Conference*

2. A. DE NINNO, V. VIOLANTE (ENEA, Frascati), *"Quasi-Plasma" Transport Model in Deuterium Overloaded Palladium Cathodes, this Conference*

3. D. GOZZI, P.L. CIGNINI, R. CAPUTO, M. TOMELLINI, E. CISBANI, S. FRULLANI, F. GARIBALDI, M. JODICE, G.M. URCIUOLI (INFN, ISS and University of Roma 1), *Experiment with Global Detection of the Cold Fusion Products, this Conference*

4. B. STELLA, M. ALESSIO, M. CORRADI, F. CROCE, F. FERRAROTTO, S. IMPROTA, N. IUCCI, V. MILONE, G. VILLORESI, F. CELANI, A. SPALLONE (INFN and University of Roma 1), *The FERMI Apparatus and a Measurement of Tritium Production in an Electrolytic Experiment, this Conference.*

5. B. STELLA, M. CORRADI, F. FERRAROTTO, V. MILONE, F. CELANI, A. SPALLONE (INFN and University of Roma 1), *Evidence for Stimulated Emission of Neutrons in Deuterated Palladium, this Conference*

6. E. BOTTA, T. BRESSANI, D. CALVO, A. FELICIELLO, P. GIANOTTI, L. LAMBERTI, M. AGNELLO, F. IAZZI, B. MINETTI, A. ZECCHINA (INFN and University of Torino), *Measurement of 2.5 MeV Neutron Emission from Ti/D and Pd/D Systems, this Conference*

7. F. CELANI, A. SPALLONE, P. TRIPODI, A. NUVOLI (INFN, Frascati), *Measurements of Excess Heat and Tritium during Self-Biased Pulsed Electrolysis of Pd-$D_2$0, this Conference*

8. L. BERTALOT, F. DE MARCO, A. DE NINNO, A. LA BARBERA, F. SCARAMUZZI, V. VIOLANTE, P. ZEPPA (ENEA, Frascati), *Study of the Deuterium Charging in Palladium by the Electrolysis of Heavy Water: Search for Heat Excess and Nuclear Ashes, this Conference*

9. A. TENENBAUM, E. TABET (INFN, ISS and University of Roma 1), *Temporal Sequence of Nuclear Signals in a "Dry" Cold Fusion Experiment, abstract presented to this Conference*

10. A. SCALIA (University of Catania), *Anomalies in Nuclear Fusion for Light Systems at Very Low Energy, abstract presented to this Conference*

11. L. FONDA, G.L. SHAW (University of Trieste and University of California at Irvine), *Anti-Diquark Catalysis of Cold Fusion, abstract presented to this Conference*

12. C. MANDUCHI, G. ZANNONI, G. MILLI, L. RICCARDI, G. MENGOLI, M. FABRIZIO (CNR and University of Padova), *paper submitted to "Nuovo Cimento"*

13. C. MANDUCHI (University of Padova), *private communication*

14. C. MERONI (INFN and University of Bologna), *private communication*

15. T. BRESSANI, E. DEL GIUDICE, G. PREPARATA (INFN and Universities of Milano and Torino), 1989, Nuovo Cimento 101A, 845; G. PREPARATA, *Proceedings of the "First Annual Conference on Cold Fusion",* National Cold Fusion Institute, Salt Lake City (USA), 91 (1990)

1.3. Dieci anni di fusione fredda: una testimonianza diretta[1]

FRANCESCO SCARAMUZZI
ENEA - Frascati

Non esiste ancora un dialogo efficace fra il mondo della fusione fredda e il mondo scientifico tradizionale. Ci sono estremisti da entrambe le parti: c'è chi afferma che la fusione fredda non esiste, e chi è convinto di aver già risolto i problemi energetici dell'umanità. Ciò nonostante, ci sono molti buoni esperimenti e buone pubblicazioni in merito: non c'è alcun dubbio che la ricerca in questo settore abbia fatto progressi. Alcuni dei fenomeni noti con questo nome sono indubbiamente reali, in particolare la produzione di calore in eccesso e la sua origine nucleare

Premessa

Ho scritto due anni fa l'articolo pubblicato qui di seguito: questo giustifica il titolo "Ten Years Of Cold Fusion: An Eye-witness Account", se ci si rifà all'inizio dell'avventura della Fusione Fredda (FF), e cioè al marzo del 1989. L'articolo è apparso l'anno scorso nel numero 1-2 del Volume 8 della rivista statunitense "Accountability in Research" (sottotitolo "Policies and Quality Assurance"). Questa rivista tenta di cogliere gli aspetti sociali ed etici della ricerca, scegliendo settori caratterizzati da situazioni particolarmente interessanti.

La FF è indubbiamente uno di questi settori, e l'amico e collega Scott Chubb, un ricercatore del Naval Research Laboratory a Washington, ha avuto l'incarico di curare la pubblicazione di un fascicolo dedicato a questo argomento. Il dott. Chubb non ha assegnato 'compiti' agli 8 autori che ha interpellato, ma li ha lasciati liberi di esprimere il loro pensiero, pur tenendo presente la natura della rivista su cui gli articoli sarebbero apparsi. A me è sembrato naturale scrivere un articolo che testimoniasse la mia personale esperienza nella ricerca sulla FF, tutta svolta presso il Centro di Ricerca ENEA di Frascati, come ricercatore ENEA fino a metà 1995 e poi, da pensionato, come consulente della Divisione Fusione. Mi è parso che quanto si era fatto, in particolare nel nostro Gruppo, non fosse ben conosciuto e meritasse quindi una descrizione, anche se necessariamente sommaria, e un'analisi in un'ottica etico-sociologica.

[1] L'articolo è stato pubblicato sulla rivista ENEA "Energia, Ambiente e Innovazione" n. 5/2001.

Mi ha anche guidato il desiderio di mostrare che la nostra ricerca è stata portata avanti con metodo rigorosamente scientifico, ottenendo risultati significativi e contribuendo al progresso dell'intero settore.

Quest'ultimo argomento può apparire polemico, ma è dettato dall'intento di contestare l'aureola di "scienza non seria" che ha accompagnato ed accompagna ancora il mondo della FF, e che noialtri operatori del settore abbiamo chiaramente avvertito.

Quando la Direzione di "Energia, Ambiente e Innovazione" mi ha proposto la pubblicazione di una versione italiana del mio articolo sulla ben nota rivista dell'ENEA, mi è parso che fosse una buona occasione per far conoscere questa mia analisi al mondo in cui l'ENEA opera. Ho riletto con attenzione l'articolo, ed ho raggiunto la conclusione che quanto ho esposto in esso è tuttora valido, nonostante i due anni trascorsi. Aggiungerò comunque qui alcune precisazioni per rendere conto degli ultimi sviluppi.

L'anno scorso, tra il 21 e il 26 di maggio, si è tenuta nella splendida Villa Marigola a Lerici (SP), la "8th International Conference on Cold Fusion" (ICCF8). La Conferenza era organizzata dall'ENEA, io ne sono stato il Chairman e il curatore degli Atti, e Antonella De Ninno ne ha curato la Segreteria.

La Conferenza ha anche avuto il patrocinio del CNR, dell'INFN e della Società Italiana di Fisica (SIF). I partecipanti sono stati 145, di cui 41 italiani, 40 statunitensi, 24 giapponesi, 12 russi. Sono stati proposti 110 abstract, che sono stati esaminati da una commissione internazionale: dei 78 lavori ammessi, 27 sono stati presentati come comunicazioni orali e 51 come poster. Lo scorso febbraio sono apparsi gli Atti della Conferenza, pubblicati, a cura della SIF (Editrice Compositori, Bologna), in un volume di circa 500 pagine, che porta il numero d'ordine 70 nella serie "Conference Proceedings": vi compaiono 68 articoli, che sono stati preventivamente sottoposti al giudizio di un referee.

Il panorama emerso da ICCF8 è quello tipico di una scienza agli inizi, che progredisce con fatica e lentezza, soprattutto a causa delle risorse limitate ad essa dedicate, ma che ha ormai raggiunto traguardi importanti sul piano scientifico e lascia intravedere prospettive interessanti sul piano applicativo. Non è questa la sede per un'analisi accurata dei risultati, ma voglio qui ricordare che ci sono state importanti conferme della rivelazione di elio inteso come 'cenere' dei processi di FF, il che rappresenta una indiscutibile conferma della natura nucleare dei fenomeni osservati.

Una nota triste ha dominato la Conferenza: un mese prima era morto a Frascati Giuliano Preparata, uno dei fisici più impegnati nella ricerca sulla FF il quale aveva dato importanti contributi, sia teorici che sperimentali. Ultimamente Giuliano aveva promosso con successo l'avvio di una iniziativa di ricerca all'ENEA, presso il Centro di Frascati. Questa iniziativa è partita, un nuovo laboratorio è stato costruito ed è operante, e Giuliano ha trascorso l'ultimo anno della sua vita all'ENEA di Frascati, a tempo pieno, trasmettendo il suo entusiasmo e la sua cultura a tutti i suoi collaboratori, tra i quali annovero anche me stesso. Una sua idea ha cominciato a dare i suoi primi risultati, che sono stati presentati a ICCF8. L'attività continua e mi auguro che il seme gettato da Giuliano Preparata possa dare i suoi frutti.

Concludendo, sono sempre più convinto della realtà dei fenomeni che sono noti col nome di FF. Sono dell'opinione che si tratti di un campo della scienza di grandissimo interesse fondamentale, anche perché permette di studiare un esempio di comportamento quantistico della materia in sistemi macroscopici. Pur conservando un atteggiamento prudente sulle prospettive applicative, ritengo che non si possa più negare che, specialmente per i risultati ottenuti con il caricamento di deuterio in palladio, si abbia produzione della forma più 'pulita' di energia nucleare che si sia mai incontrata, in cui tutta l'energia della reazione viene trasformata in calore, e non c'è apprezzabile emissione di radiazioni nucleari, né c'è traccia di scorie radioattive. Anche se le quantità di energia finora evidenziate sono piccole, e i modi di utilizzo ancora da definire, questa prospettiva meriterebbe una maggiore attenzione da parte della comunità scientifica. Esprimo la mia riconoscenza e il mio apprezzamento all'ENEA per la disponibilità dimostrata a condurre ricerche in questo settore.

Il termine Fusione Fredda (FF) deriva dall'interpretazione data a certi fenomeni che si verificano nel reticolo cristallino di un metallo, più o meno a temperatura ambiente, in termini di fusione nucleare, ad esempio fra due nuclei di deuterio: fredda rispetto alle temperature elevate della fusione termonucleare (10^8 K). La definizione venne suggerita per la prima volta nella primavera del 1989 da Fleischmann e Pons: il loro esperimento suscitò grande clamore in tutto il mondo, ma entro pochi mesi la comunità scientifica respinse la validità dell'esperimento e di conseguenza questa interpretazione.

Ciò nonostante, la ricerca sulla FF proseguì in alcuni laboratori, soprattutto in USA, Giappone, Italia, Russia e Cina, mentre i convegni internazionali sull'argomento si susseguirono regolarmente, al ritmo di circa uno ogni anno e mezzo. Tuttavia, dieci anni dopo, a dispetto degli innegabili (seppur non strabilianti) progressi compiuti in questo campo, la comunicazione fra la piccola comunità della FF ed il mondo scientifico in generale è ormai quasi inesistente.

Sono stato attivo in questo campo fin dall'inizio, ed ho vissuto in prima persona e con molto disagio la mancanza di comunicazione con il resto del mondo scientifico, soprattutto perché so bene con quale rigoroso approccio scientifico il Gruppo ENEA con il quale lavoro a Frascati abbia condotto la ricerca. Penso di poter contribuire alla valutazione della situazione attuale della FF, sia dal punto di vista scientifico che da quello "sociale", portando la mia testimonianza su questi dieci lunghi anni.

Inizierò affrontando due tematiche chiave per spiegare l'attuale mancanza di comunicazione: il problema della riproducibilità e quello delle caratteristiche nucleari anomale dei risultati sperimentali (paragrafo "Alcuni problemi"). Cercherò poi di raccontare la storia della FF così come l'ho vissuta, ovvero dal mio punto di vista ed alla luce della mia esperienza personale: mi auguro che questo resoconto renda chiara l'evoluzione logica della ricerca effettuata dal Gruppo ENEA di Frascati, che ha portato a significativi progressi nel raggiungimento della riproducibilità (paragrafo "Cronistoria"). Tenterò quindi di formulare alcune considerazioni generali in merito a tutto il campo della FF, in modo da dare un qualche senso del suo attuale stato dell'arte, senza tuttavia voler in alcun modo fornire una panoramica esaustiva di questa disciplina (paragrafo "Situazione attuale"). Infine trarrò alcune conclusioni, indicherò alcune prospettive per il futuro e farò qualche commento sulle comunicazioni fra la comunità della FF ed il resto del mondo scientifico (paragrafo "Conclusioni").

Alcuni problemi

Esistono due problemi, l'assenza di riproducibilità e le caratteristiche nucleari anomale, che ritengo debbano essere ben valutati, perché, avendo creato molti dubbi nella comunità scientifica, sono alla base del suo profondo scetticismo nei confronti della FF.

Riproducibilità

Tempo fa ho visto un programma televisivo, uno di quelli che vogliono spiegare la scienza ai profani, dove ad un noto fisico venne chiesto cosa ne pensasse della FF. Lui rispose che non si trattava di buona scienza, perché non c'erano esperimenti riproducibili. Gli scrissi una lettera in cui a) mi dichiaravo d'accordo sul fatto che la riproducibilità sia assolutamente essenziale nella ricerca sperimentale, ma che b) un campo di ricerca nuovo è spesso caratterizzato agli esordi dalla scarsa riproducibilità, e che è compito degli scienziati che operano in tale campo capire quel che succede, in modo da perseguire la riproducibilità, e che c) ciò era stato fatto nel caso della FF, compiendo progressi lenti ma significativi (gli inviai anche un mio articolo sul problema[2]). La mia lettera non sortì alcun risultato, nel senso che il fisico non cambiò idea e continuò ad esigere la riproducibilità, come se si trattasse di una caratteristica intrinseca della ricerca e non una cosa da ricercare.

Al fine di chiarire la questione, proporrò alcune affermazioni sulla riproducibilità. Primo, cosa vuol dire? Consideriamo un semplice esperimento di laboratorio. Quando lo si effettua, si sceglie il campione, si elabora una procedura (protocollo) e si ottengono dei risultati. Se si ottengono gli stessi risultati con il medesimo tipo di campione ed il medesimo protocollo ogni volta che lo si effettua, l'esperimento è riproducibile. Un ulteriore stadio della riproducibilità consiste nel descrivere l'esperimento in una pubblicazione scientifica, con la conseguenza che qualsiasi altro scienziato che rifaccia lo stesso esperimento, in base a quella relazione, otterrà i medesimi risultati. Ora, immaginiamo di fare l'esperimento, di annotarne con la massima accuratezza possibile i parametri (campione e protocollo), e che, quando lo si ripete, non si ottengano gli stessi risultati: l'esperimento non è riproducibile! Ci sono due spiegazioni possibili: o il primo esperimento era sbagliato, oppure non abbiamo usato lo stesso tipo di campione o seguito il medesimo protocollo. Se, riesaminando il nostro primo esperimento, arriviamo alla conclusione che le misure effettuate erano corrette ed affidabili, dobbiamo accettare la seconda spiegazione. A questo punto diamo il via ad un'ulteriore fase della nostra ricerca: cerchiamo di capire quali caratteristiche potevano essere nascoste nella scelta del campione e nel protocollo ed aver influenzato i risultati senza che ce ne rendessimo conto. Iniziamo così quella che potrebbe essere una difficile marcia verso la riproducibilità. Non è esatto affermare, come molti hanno fatto per la FF, che la non riproducibilità significa necessariamente un esperimento sbagliato.

Per illustrare queste mie affermazioni, racconterò un episodio verificatosi nel 1992 nel Gruppo ENEA di Frascati, di cui ero a capo. Stavamo lavorando ad esperimenti di FF basati sul caricamento gassoso di deuterio in titanio, alla ricerca di neutroni e di trizio, ed avevamo raggiunto la conclusione che avremmo dovuto passare ad un altro tipo di esperimento, cioè misurare l'eccesso di calore prodotto nel palladio caricato con deuterio in una cella elettrolitica contenente acqua pesante (in pratica, l'esperimento di Fleischmann-Pons). Per costruire i catodi, prendemmo l'unico foglio di palladio presente in laboratorio, costruimmo la cella elettrolitica, la ponemmo dentro un calorimetro di precisione ed eseguimmo l'esperimento. Le prime tre prove, con tre diversi catodi ricavati dallo stesso foglio, e seguendo lo stesso protocollo, fornirono segni chiarissimi di produzione di calore in eccesso, di un paio di ordini di grandezza superiore agli errori sperimentali[3]. A questo punto, avevamo usato tutto il palladio che c'era in laboratorio, per cui ne ordinammo dell'altro dalla stessa azienda che aveva fornito il campione precedente, richiedendo le stesse specifiche. Ricevuto il nuovo palladio, iniziammo un'altra serie di esperimenti, nessuno dei quali diede alcun segno di produzione di calore in eccesso. Ecco lì: non avevamo alcun dubbio sull'esattezza delle prime misure, ma era bastato cambiare il campione di palladio perché il calore in eccesso scomparisse, anche se, dal punto di vista commerciale, si trattava dello stesso tipo di palladio. Quello fu l'inizio del progetto che portò il Gruppo ad ottenere, nel 1996, risultati molto vicini alla riproducibilità totale[4]. Ritornerò sull'argomento in seguito.

Molti gruppi di ricerca sulla FF hanno avuto esperienze frustranti di questo genere. Sono sicuro che la storia della scienza è piena di esempi simili, in particolare quando il campione ed il protocollo sono intrinsecamente complessi. Amo citare a questo proposito una frase scritta nel 1931 da Wolfgang Pauli in una lettera a Peierls (mia traduzione): "Non si dovrebbe lavorare sui semiconduttori, sono una gran porcheria; chissà se poi esistono davvero dei semiconduttori"[5]. Oggi siamo circondati da semiconduttori, e nessuno ha alcun dubbio circa l'importante contributo di Pauli allo sviluppo della fisica del Novecento, ma nel 1931 lui era fra quelli che pensavano che "la misura era sbagliata". Per contro, talvolta accade che, anche nel caso di sistemi complessi, la riproducibilità sia a portata di mano. Così è stato per i superconduttori ad alta temperatura critica (HT_c): nel 1986, quando questi strani composti ceramici vennero scoperti, bastarono pochi mesi perché tutti fossero in grado di sintetizzarli e controllare che fossero davvero superconduttori.

Da allora, la ricerca sulla superconduttività ad HT_c è stata ampiamente sviluppata, con un andamento, e quindi una crescita, completamente diversi da quelli della FF.

Il confronto fra la superconduttività ad HT_c e la FF, presentato per la prima volta da David Goodstein, costituisce una buona base per tentare di analizzare la situazione attuale della FF. A mio parere, l'assenza di riproducibilità ha svolto un ruolo importante nello scetticismo della comunità scientifica e nella conseguente solitudine della comunità della FF. So per esperienza che è davvero spiacevole e frustrante lavorare per anni in queste condizioni, sostenuti soltanto dalla certezza (non semplicemente la sensazione) che "la misura non è sbagliata". La fisica offre attualmente troppe opportunità di svolgere ricerche interessanti ed avanzate (anche se forse non così interessanti ed avanzate come la FF), con ricompense - in termini di risultati accettati, quantità di pubblicazioni, e quindi di avanzamento di carriera - più facilmente raggiungibili, per potersi aspettare che degli scienziati si offrano volontari per la ricerca sulla FF. A ciò aggiungiamo la notevole discriminazione a priori che molte importanti riviste scientifiche hanno praticato nei confronti della FF, nonché la carenza di risorse sia umane che finanziarie, ed abbiamo un quadro che giustifica la lentezza dei progressi effettuati in questo campo. D'altro canto, ho appena affermato che la riproducibilità è stata "quasi" raggiunta. Perché allora non è cambiato nulla? L'episodio che ho riferito all'inizio di questo paragrafo fornisce una risposta indiretta: si ha spesso l'impressione che qualsiasi tentativo di riavviare la comunicazione sia condannato in partenza. Si è tentati di dire, così come pare abbia detto Max Planck: "Una nuova verità scientifica non trionfa perché ha convinto i suoi oppositori e fatto loro vedere la luce, ma piuttosto perché i suoi oppositori col tempo muoiono, lasciando il posto ad una nuova generazione alla quale essa è familiare".

Caratteristiche nucleari anomale

La ricerca sulla FF è caratterizzata da una grande varietà di esperimenti, dalle celle elettrolitiche alle procedure di caricamento gassoso, dalla misura dell'eccesso di calore prodotto all'individuazione di ceneri nucleari di vario tipo: neutroni, trizio, ^4He e così via. Naturalmente, il concetto di cenere nucleare deriva dalla convinzione che i fenomeni studiati siano reazioni nucleari, il che rappresenta un punto centrale della FF. Ai fini di questo paragrafo, mi limiterò, senza perdita di generalità, agli esperimenti sul calore in eccesso, dove la grande quantità di calore

prodotto non può essere giustificata da reazioni chimiche. Pertanto, si deduce per esclusione che provenga da reazioni nucleari.

L'ipotesi più immediata negli esperimenti di tipo Fleischmann-Pons è che la produzione di calore sia dovuta ad una reazione di fusione fra due nuclei di deuterio (deutoni, D), come è stato proposto nel 1989[1]. Questa reazione è stata ampiamente studiata, soprattutto mediante esperimenti effettuati con l'ausilio di acceleratori di particelle, ovvero in condizioni di quasi-vuoto e con particelle energetiche (>10^5 eV). Ciò è molto diverso dagli esperimenti di FF, che vengono effettuati dentro la materia condensata ed a temperatura ambiente (energie dell'ordine di una piccola frazione di eV). Il seguente schema presenta le ben note regole per la reazione di fusione D+D:

$D + D = {}^4He + 24\ MeV$

- $n + {}^3He + 3.3\ MeV$ (50%)
- $p + {}^3H + 4.0\ MeV$ (50%)
- ${}^4He + \gamma + 24\ MeV$ (10^{-6})

dove n = neutrone, p = protone, ed in parentesi sono riportate le probabilità dei tre rami finali. Il primo stadio della reazione è la creazione di un nucleo di ^{4}He con un'energia in eccesso pari a 24 MeV. In condizioni di vuoto, quest'enorme energia spiega l'elevata probabilità che questo nucleo decada in due pezzi (i primi due rami); molto raramente, l'energia in eccesso viene emessa sotto forma di raggio gamma, lasciando un nucleo integro di ^{4}He (terzo ramo). Se quel che si verifica negli esperimenti di FF è una reazione D+D, allora queste regole non vengono affatto rispettate, perché la quantità di energia termica prodotta corrisponderebbe ad un'enorme emissione di neutroni (solo per citare le uniche particelle che attraversano quasi ogni cosa), circa 5 ordini di grandezza superiore ai flussi misurati.

Questo (e molto di più) è ciò che ho inteso con il titolo "caratteristiche nucleari anomale". È stato detto che, per poter giustificare le reazioni di fusione D+D negli esperimenti di FF con deuterio in palladio, sono necessari tre "miracoli". Il primo è un fortissimo aumento della probabilità che la fusione abbia luogo. Se cerchiamo di estrapolare alle basse energie i valori noti per le alte energie, troviamo che la probabilità di un tale evento è circa 50 o più ordini di grandezza inferiore a quella necessaria per giustificare il calore in eccesso misurato[7]: in altre parole, non c'è alcuna possibilità che due deutoni fondano fra loro a temperatura ambiente.

Il secondo miracolo riguarda l'assenza di neutroni (e di trizio, e così via) come ceneri della reazione. Dobbiamo presupporre che il branching ratio (cioè le relative probabilità dei tre rami della reazione) risulti anch'esso drasticamente alterato: dobbiamo cioè immaginare che le prime due reazioni diventino altamente improbabili, mentre la terza, quella che dà origine ad un nucleo di ^{4}He, presenti una probabilità elevatissima, quasi del 100%. Ma a questo punto, poiché non rileviamo alcun raggio gamma, abbiamo bisogno del terzo miracolo: dobbiamo cioè ipotizzare che in qualche modo i 24 MeV di energia in eccesso si trasformino in calore all'interno del reticolo del metallo ospite: quel calore in eccesso che misuriamo con il nostro calorimetro. Se questi tre miracoli avvenissero, allora l'unica cenere dovrebbe essere lo 4He, che è stato cercato, ed in alcuni casi trovato. Ma rilevare piccole quantità di ^{4}He è molto difficile, e questa è una delle caratteristiche la cui riproducibilità è ancora materia di indagine.

Accettare i tre miracoli non comporta una violazione delle leggi fondamentali della fisica: in particolare, la conservazione della massa più energia risulta soddisfatta.

Una soluzione possibile è di supporre che la differenza derivi dal fatto che la reazione avviene all'interno della materia condensata, piuttosto che nel vuoto. Tuttavia, questa idea non è facile da mandare giù. È stato detto che non c'è alcuna possibilità che il reticolo, caratterizzato com'è da tempi lunghi (10^{-5}) e grandi distanze (10^{-10}m), possa influenzare eventi nucleari, i cui tempi tipici sono dell'ordine di 10^{-20}s e le cui distanze di circa 10^{-15}m. Per citare Goodstein[6], "quando il nucleo fa quello che fa, gli atomi del cristallo sono lontanissimi e congelati nel tempo".

A questo punto, però, viene naturale fare (come fa anche lo stesso Goodstein) un confronto con l'effetto Mössbauer. In alcuni nuclei (^{191}Ir, ^{57}Fe, ^{67}Zn), l'emissione di un raggio gamma da un nucleo contenuto all'interno di in un reticolo cristallino può verificarsi in due modi completamente diversi, in funzione delle proprietà macroscopiche del reticolo stesso, in particolare la temperatura. In uno di questi modi, il raggio gamma emesso presenta una larghezza di riga estremamente ridotta che coincide con quella naturale, il che significa che l'emissione si verifica come se il rinculo venisse assorbito dall'intero reticolo. Certo, le energie coinvolte sono molto diverse rispetto a quelle della FF (decine di keV invece di MeV), e per spiegare il fenomeno sono state elaborate teorie accettate dal mondo scientifico.

Ma allora, quel che mi colpisce è che, in qualunque modo lo si voglia vedere, uno dei parametri macroscopici del sistema, cioè la temperatura del reticolo, determina il passaggio dell'emissione del raggio gamma da un modo (grande larghezza di riga di emissione) all'altro (comportamento collettivo del reticolo): ciò significa che il reticolo è in grado di influenzare un evento nucleare.

Giuliano Preparata ha tentato un'interpretazione diversa dell'effetto Mössbauer[8] e proposto una teoria per la FF[9], entrambe basate sull'applicazione dell'Elettrodinamica Quantistica (QED) alla materia condensata. Queste "caratteristiche nucleari anomale" rappresentano un ulteriore motivo dello scetticismo della comunità scientifica nei riguardi della FF. Per inciso, anche all'interno della comunità della FF vi sono tentativi di interpretare i fenomeni in termini di (a mio avviso improbabili) interazioni elettromagnetiche (ovvero chimiche), il che eviterebbe di invocare eventi nucleari.

Personalmente, ritengo che la prova sperimentale dell'esistenza di ceneri nucleari, compreso il recente eppur notevolissimo campo delle "trasmutazioni" (vedi in seguito), sebbene non forte quanto quella dell'eccesso di calore, sia tuttavia assai convincente.

Cronistoria

L'inizio

Alla fine del marzo 1989, come molti altri scienziati di tutto il mondo, fui molto colpito dalla notizia arrivata dallo Utah, sugli esperimenti di Fleischmann e Pons[1] e di Steven Jones[10]. Devo confessare che ero molto scettico circa i risultati sul calore in eccesso (come si fa ad immaginare la fusione D+D senza neutroni?), e come fisico ero restio a lavorare con roba così "sporca" come l'elettrolisi. Con un ragionamento molto ingenuo, che all'epoca era certamente condiviso da molti colleghi, pensavo che un approccio più fisico, come il caricamento gassoso di deuterio in un metallo adatto, sarebbe stato altrettanto efficace per ottenere la fusione di due deutoni.

Ne parlai con i due giovani fisici del Gruppo, Antonella De Ninno ed Antonio Frattolillo, e con i tecnici Peppino Lollobattista, Lorenzo Martinis e Luciano Mori, e decidemmo di provare un esperimento semplice: caricare deuterio in titanio con una procedura di caricamento gassoso e cercare neutroni mentre eseguivamo cicli di temperatura. Chiedemmo ed ottenemmo la partecipazione di Marcello Martone e

Salvatore Podda, esperti nella rivelazione di neutroni, ed effettuammo l'esperimento: in una settimana avemmo due lunghi periodi di tempo (decine di ore) con una notevolissima emissione di neutroni. Il risultato venne comunicato alla direzione dell'ENEA, venne scritta una relazione[11], si ottenne un brevetto, ed i risultati furono presentati ad un seminario ed in una conferenza stampa (all'epoca, quest'ultima sembrava una prassi molto diffusa).

Non starò a raccontare quello che accadde in conseguenza di questi primi avvenimenti: lo ha già fatto David Goodstein[6]. Mi limiterò ad una breve panoramica dell'evoluzione scientifica della nostra ricerca nel primo paio d'anni. Ci rendemmo ben presto conto della scarsissima riproducibilità del nostro esperimento, perché riuscimmo a ripeterne i risultati pochissime volte nel corso di decine di prove. Analizzammo ripetutamente i nostri primi risultati, domandandoci se ci fosse qualcosa di sbagliato, e non riuscimmo mai a trovare un qualche artefatto: sono tutt'ora convinto che quegli eventi, seppur non riproducibili, fossero reali (anni dopo, venimmo a sapere che, seguendo le medesime procedure, un altro gruppo italiano aveva ottenuto gli stessi risultati del nostro secondo esperimento[12]). Nel maggio del 1989 si tenne a Santa Fe, Nuovo Messico (USA), un workshop sulla FF organizzato dal Dipartimento di Energia statunitense (DOE) e dal Los Alamos National Laboratory (LANL). Qui ebbi l'occasione di mettermi in contatto con altri gruppi alla ricerca di prove della presenza di neutroni, in particolare con quello di Steven Jones a Provo, nello Utah (USA), e quello di Howard Menlove dello LANL. In seguito a questo scambio di informazioni, decidemmo di adottare i loro sofisticati rilevatori di neutroni. Le misure effettuate con un rilevatore di questo tipo ebbero successo, e nel marzo 1990 le presentammo al convegno organizzato dall'American Physical Society ad Anaheim, in California, nonché alla prima conferenza internazionale sulla FF tenutasi lo stesso mese a Salt Lake City, capitale dello Utah[13]. I dati erano piuttosto scarsi e di intensità molto inferiore a quelli che avevamo ottenuto prima, ma erano compatibili con quelli degli altri gruppi. Il passo successivo venne ideato per ridurre il fondo di neutroni: effettuammo una serie di misure nel laboratorio del Gran Sasso (un complesso molto avanzato situato 1600 metri sottoterra, vicino all'Aquila, e gestito dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare), dove il fondo di neutroni risulta ridotto di un fattore di 10^3. Il risultato fu essenzialmente negativo: ciò nonostante, riferimmo i risultati al convegno di Provo nell'ottobre 1990[14], e poi alla seconda Conferenza Internazionale sulla FF a Como, nel luglio 1991[15].

C'erano anche stati dei tentativi teorici di spiegare i nostri risultati non in termini di una vera fusione fredda, ma piuttosto come una fusione calda su scala microscopica, dove l'energia che la giustificava sarebbe stata fornita o da forze elettromagnetiche[16] o dalla sollecitazione meccanica indotta dai forti gradienti termici prodotti durante la nostra procedura[17].

Valutando lo stato della nostra attività di ricerca due anni dopo il suo inizio, non eravamo affatto contenti: da un lato, i nostri sforzi di conquistare la riproducibilità non stavano facendo alcun progresso, dall'altro l'ipotesi che si trattasse di "fusione calda su scala microscopica" rendeva l'argomento molto meno interessante di quel che avevamo sperato. Inoltre, ero ancora molto scettico circa la realtà delle misure di calore in eccesso, considerando come uniche prove pertinenti ed affidabili le misure di neutroni e di trizio. Questa convinzione era condivisa da molti fautori della FF, e ciò provocò una divisione nel campo (quella che Goodstein[6] chiama FF "buona" e FF "cattiva"). Il workshop di Provo, di cui fui uno degli organizzatori (contribuendo anche, seppur in piccola parte, alla pubblicazione degli Atti), si era dedicato solo ad esperimenti basati sul rilevamento di particelle nucleari. Fu in questo stato d'animo che partecipammo alla Conferenza di Como (luglio 1991).

La Conferenza di Como - 1991

Sono convinto che quello di Como sia stato il convegno più importante nella breve storia della FF. Fu infatti a quel convegno che vennero presentati dei risultati che diedero luogo a dei veri progressi nel campo e che influenzarono le ricerche dell'intera comunità negli anni successivi. Accennerò qui alle tre problematiche che considero più importanti:

A. Calore in eccesso a confronto con emissioni nucleari. Esistevano molte conferme delle misure di calore in eccesso in esperimenti effettuati in celle elettrolitiche, anche se la quantità di calore prodotto era alquanto variabile: era possibile dire che era stato fatto un primo passo verso la riproducibilità. Per contro, le misure di emissioni nucleari, in particolare di neutroni e trizio, anche quando effettuate con precisione, avevano dato risultati molto casuali, lontani dalla riproducibilità, nonché ad un livello molto basso, spesso quasi indistinguibili dal fondo. Il tentativo di misurare le energie dei neutroni dava risultati contraddittori, spesso senza alcuna correlazione con una qualche teoria. Nell'ambito di un unico esperimento, poi, era molto difficile trovare una correlazione fra calore in eccesso ed emissioni nucleari: sembrava che fossero assolutamente indipendenti fra loro.

B. Calore in eccesso in funzione del rapporto D/Pd. Uno dei risultati più significativi fu presentato da Mike McKubre ed i suoi collaboratori[18] dello Stanford Research Institute (SRI), i quali avevano costruito un calorimetro di precisione per celle elettrolitiche chiuse, ed avevano anche sviluppato metodi per misurare la quantità di deuterio assorbita dal catodo di palladio, espressa come D/Pd ratio, ovvero il rapporto atomico fra deuterio e palladio. Ciò aveva loro consentito di scoprire una delle caratteristiche più importanti della FF: l'esistenza di una soglia del D/Pd ratio, sotto la quale non è possibile produrre calore in eccesso. Il valore di questa soglia, per la configurazione dell'esperimento dello SRI, era circa 0.9-1.0. A posteriori, ciò spiegherebbe perché i fenomeni di FF non fossero facili da produrre: gli elettrochimici sanno bene che raggiungere un D/Pd ratio di 0.67 è abbastanza semplice, mentre superare questo limite non lo è affatto. Questa informazione ebbe l'importante risultato di spostare l'attenzione degli sperimentatori che si sforzavano di ottenere la riproducibilità dal problema generale della produzione di calore in eccesso a quello, più specifico e più controllabile, del superamento della succitata soglia. Ebbe anche una conseguenza secondaria per me, un fisico del tutto digiuno di elettrochimica: compresi la ragione principale per cui negli esperimenti di FF l'elettrolisi è così efficiente rispetto al caricamento gassoso. Se osserviamo il diagramma di fase del composto di deuterio-palladio, troviamo che per ottenere D/Pd ratio elevati a temperatura ambiente bisogna utilizzare pressioni molto alte. Ciò non è affatto pratico negli esperimenti con caricamento gassoso, mentre non è necessario nell'elettrolisi, dove il meccanismo elettrolitico può di per sé essere considerato equivalente all'applicazione di pressioni molto elevate sugli ioni che entrano nel reticolo del metallo. Sembrava che, finché qualcuno non trovava una tecnica più efficiente di caricare in gas, l'elettrolisi rappresentava un modo assai migliore per raggiungere e superare la famosa soglia.

C Un'altra importante comunicazione venne presentata da Melvin Miles del China Lake Laboratory della Marina Militare statunitense[19], dove erano stati raccolti i gas che si erano evoluti da una cella elettrolitica con la quale si stavano effettuando esperimenti di FF. I gas erano stati sottoposti ad analisi di massa in collaborazione con un gruppo di ricerca dell'Università del Texas ad Austin, nel tentativo di correlare la produzione di calore in eccesso con la presenza di ^{4}He nei gas stessi. La correlazione venne trovata e risultava qualitativamente in buon accordo con l'ipotesi cui ho già accennato, ovvero che lo ^{4}He costituisca

la cenere specifica in questo tipo di esperimento. Era la prima prova diretta convincente dell'origine nucleare dell'eccesso di calore.

I risultati appena descritti ebbero un notevole impatto sullo sviluppo della FF, ed in particolare produssero un effetto immediato sull'attività del mio gruppo all'ENEA di Frascati: decidemmo di passare dagli esperimenti che stavamo facendo ad esperimenti con celle elettrolitiche, alla ricerca di calore in eccesso. In effetti, all'ENEA di Frascati c'era anche un altro gruppo, che comprendeva fra gli altri Luciano Bertalot, Francesco De Marco, Aurelio La Barbera e Vittorio Violante, che stava effettuando soprattutto esperimenti con celle elettrolitiche - con acqua pesante e palladio - cercando neutroni e trizio. Aurelio la Barbera aveva trascorso alcuni mesi presso la Texas A&M University, effettuando misure calorimetriche su una cella elettrolitica ed ottenendo chiare prove della presenza di calore in eccesso in una prova su tre . I nostri due gruppi si unirono per questo nuovo progetto.

Calore in eccesso all'ENEA di Frascati

Nel paragrafo "Alcuni problemi" (sottoparagrafo "Riproducibilità"), ho descritto come, nel 1992, il Gruppo ENEA Frascati vide una chiara indicazione di produzione di calore in eccesso, poi la susseguente delusione con il "nuovo" palladio. Convinto della realtà della produzione di calore in eccesso, il gruppo passò a provare parametri sperimentali diversi e ad affrontare temi che potevano contribuire da una parte ad una migliore comprensione dei fenomeni osservati, dall'altra al raggiungimento di una migliore riproducibilità. Mi limiterò a citare alcuni elementi che, secondo me, contribuirono al progresso in questo campo.

A. Nella prima serie di misure[3], il catodo era montato in modo tale da avere una faccia volta verso l'anodo, ed immersa nell'elettrolita, e l'altra a contatto con un volume sigillato contenente deuterio gassoso. La misura della pressione all'interno di questo volume forniva informazioni circa la permeazione del deuterio attraverso il catodo. Rilevammo che durante i periodi di produzione di calore in eccesso il deuterio gassoso fluiva dal volume e penetrava nel metallo, mentre quando non c'era eccesso di calore avveniva il contrario. Non so cosa significhi, ma si tratta di un'altra caratteristica distintiva di questo fenomeno.

B. Uno degli argomenti contro la reale esistenza del calore in eccesso era il seguente: normalmente ci vuole molto tempo, anche settimane, per "caricare" in elettrolisi il sistema, affinché possa produrre calore in

eccesso. Si potrebbe immaginare che, in questa fase, ci sia nel sistema un meccanismo sconosciuto di accumulo di energia (comune energia chimica). Ad un certo punto, questa energia viene rilasciata, e viene interpretata come calore in eccesso: se ciò fosse vero, il fenomeno sarebbe molto meno interessante, perché non verrebbero chiamate in causa reazioni nucleari. In due esperimenti riuscimmo a confutare questo argomento. Nella prova n. 3 della prima serie di esperimenti, la produzione di calore in eccesso iniziò in tempi molto brevi, pochi minuti dall'inizio dell'elettrolisi, e durò quasi 24 ore. Nel più spettacolare dei nostri risultati, che presentammo alla ICCF5 (V Conferenza Internazionale sulla Fusione Fredda)[21], ottenemmo la produzione di una grande quantità di calore in eccesso, fino a 600 kJ, con una potenza di picco di 11 W (contro gli 8 W di potenza immessa), negli ultimi tre giorni di una prova durata 50 giorni. Avevamo effettuato una calorimetria accurata della prova dall'inizio alla fine, e potevamo quindi rispondere di tutto il calore prodotto, entro il margine di errore sperimentale (50 mW). Pur immaginando che tutto l'errore sperimentale fosse dedicato a questo anomalo accumulo di energia, un'ipotesi davvero poco plausibile, ciò non avrebbe giustificato che meno della metà del calore in eccesso misurato.

C. In questo stesso esperimento, comparve un'altra caratteristica molto suggestiva. Mentre misuravamo il bilancio dell'energia del calorimetro, per individuare calore in eccesso, misuravamo anche la tensione applicata alla cella (con un'alimentazione a corrente costante). Nei tre periodi in cui venne prodotto calore in eccesso, trovammo che la misura della tensione era caratterizzata da un "modo" completamente diverso, e che il "passaggio" da un modo all'altro era molto repentino e coincideva con l'inizio della produzione di calore in eccesso, come se l'intero sistema termodinamico avesse subito una transizione di fase. La possibilità che, dal punto di vista della fisica della materia condensata, una transizione di fase costituisca il fenomeno di base che dà origine alla FF è piuttosto ragionevole: è stato suggerito che potrebbe essere correlato ad uno spostamento degli ioni di deuterio dai siti ottaedrici a quelli teatraedrici del reticolo cristallino del palladio.

Alla ricerca della riproducibilità

La ricerca della riproducibilità ha costituito un tema centrale per il Gruppo, sia per la sua importanza intrinseca, sia perché siamo coscienti delle conseguenze "sociali" della sua assenza, ovvero la già menzionata inevitabile "solitudine" a fronte della comunità scientifica tradizionale. L'importanza di ottenere un valore elevato del D/Pd ratio, che avevamo appreso alla Conferenza di Como, si fece sempre più evidente col tempo, cosicché l'episodio del palladio "buono" e "cattivo" poteva essere interpretato in termini di un diverso grado di difficoltà nel perseguire tale obiettivo, a seconda del "tipo" di palladio. Ciò era una chiara indicazione che la via maestra per ottenere D/Pd ratio elevati era lo studio delle caratteristiche del palladio e del loro rapporto con la dinamica di assorbimento del deuterio. Alla fine, il lavoro svolto su questo problema dai giovani scienziati del Gruppo (Antonella De Ninno, Aurelio La Barbera e Vittorio Violante) fornì notevoli indizi sulle principali cause che rendevano difficile ottenere rapporti di caricamento elevati[22]. Di conseguenza, furono proposti un protocollo per la preparazione del campione e una procedura particolare per la prima fase di caricamento di deuterio, che consentirono infine al Gruppo di raggiungere un buon livello di riproducibilità: 5 campioni sui 6 sottoposti all'intera procedura mostrarono una chiarissima produzione di calore in eccesso[4]. A questo punto si rendeva necessario un forte investimento di tempo e sforzi, al fine di sfruttare il progresso compiuto. Purtroppo, quel che è invece accaduto in questi ultimi anni è che il numero di componenti del Gruppo è stato ridotto da cinque scienziati a tempo pieno a due.

Desidero menzionare qui un'altra tecnica sviluppata per studiare la dinamica del deuterio nel palladio, che è stata applicata in esperimenti fatti dal Gruppo in collaborazione con un altro laboratorio della zona di Frascati, l'Istituto di Struttura della Materia del Consiglio Nazionale delle Ricerche: si è usato un diffrattometro a raggi X per misurare in tempo reale i parametri della cella elementare durante l'elettrolisi, osservando così gli eventuali cambiamenti nel reticolo del palladio quando venivano raggiunti valori elevati del rapporto di caricamento. Questa tecnica funzionava bene[23], ma in questi esperimenti non siamo mai riusciti a raggiungere D/Pd ratio superiori a 0.75. Si tratta di una tecnica molto promettente che dovrebbe essere perseguita in maniera più sistematica. Nel nostro caso, ciò non è stato purtroppo possibile: l'esperimento era molto "costoso" in termini di tempo e lavoro, ed il nostro Gruppo era molto piccolo.

Stato dell'arte

Scienza

Valutare la ricerca sulla FF è molto difficile, a causa della grande varietà di esperimenti e di teorie apparse in questo campo: ho smesso di contare le pubblicazioni quando superarono il migliaio qualche anno fa. È difficile anche perché, in assenza di normali relazioni con il mondo tradizionale della scienza, all'interno della comunità della FF c'è stata poca critica. Le relazioni non sono pertanto tutte di buona qualità, ed i loro risultati sono talvolta discutibili. Ciò nonostante, ci sono molti buoni esperimenti e buone relazioni in merito: non c'è alcun dubbio che la ricerca sulla FF abbia fatto progressi. Edmund Storm ha cercato negli anni di fornirne una panoramica completa, in due articoli molto dettagliati e completi di bibliografie molto ampie[24], che segnalo a chiunque voglia acquisire una conoscenza approfondita del campo. In questa sede, sia perché non mi ritengo in grado di compiere una tale impresa in maniera soddisfacente, sia perché ciò esulerebbe dallo scopo di questo articolo (e di questa rivista), mi limiterò a tratteggiare un breve riassunto delle aree di studio più importanti. Ancora una volta, rifletterà la mia visione personale del campo, senza pretendere di essere esauriente.

A. Inizierò con lo sforzo teso a conseguire la riproducibilità. Voglio qui menzionare il lavoro di Giuliano Mengoli, a Padova, che ha misurato calore in eccesso in celle elettrolitiche in diverse configurazioni, lavorando a temperature prossime a quella di ebollizione dell'acqua. I risultati sono alquanto riproducibili[25]. (Fleischmann e Pons avevano già fatto esperimenti ad "alte" temperature, evidenziando fra l'altro un fenomeno interessante, definito "calore dopo la morte", cioè la persistenza di produzione di calore dopo la completa evaporazione dell'elettrolita[26]).

   Un altro metodo interessante e degno di nota è quello seguito negli esperimenti effettuati dal gruppo guidato da Giuliano Preparata. L'idea è che la presenza di un potenziale elettrico nel catodo di palladio può influenzarne il potenziale chimico[27] consentendo così D/Pd ratio più elevati: in questo modo è più facile ottenere calore in eccesso, senza preoccuparsi troppo delle caratteristiche di tipo "scienza dei materiali" del metallo (l'idea emerge dalla già citata teoria di Preparata[9]). Alfine di ottenere potenziali sufficientemente elevati, il catodo è costituito da un lungo filo sottile di palladio, alle cui estremità viene applicato una tensione: i risultati sono ben riproducibili[28]. Anche la via scelta da Francesco Celani, il quale

riveste il catodo con materiali appropriati per impedire la fuga di deuterio, è alquanto promettente[29].

B. Esistono svariati esperimenti che sembrano mostrare che è possibile avere produzione di calore in eccesso in un sistema sperimentale diverso: nichel ed idrogeno al posto di palladio e deuterio. In questo caso, l'unica spiegazione sensata per le reazioni di fusione nucleare è la fusione dell'idrogeno con uno dei pochi deutoni che sono sempre presenti nell'idrogeno come impurezze. Questa idea ricorda il lavoro di Julian Schwinger, che esaminò la possibilità di una tale reazione come spiegazione generale della FF[30]. La produzione di calore in eccesso è stata rilevata in esperimenti di elettrolisi dell'acqua leggera[25,31], in esperimenti di elettrolisi nelle cosiddette "celle Patterson", dove il catodo è costituito da un insieme di migliaia di sferette di plastica rivestite con strati di palladio e di nichel[32], ed in esperimenti di caricamento gassoso[33].

C. Sta crescendo l'interesse per l'individuazione delle "ceneri nucleari". Sono stati riferiti svariati esperimenti accurati e raffinati, progettati per rilevare le ceneri "tradizionali" (neutroni, trizio ecc.) e la loro correlazione con il calore in eccesso; particolarmente interessante è il lavoro del Gruppo di Osaka diretto da Akito Takahashi[34]. Stanno aumentando anche gli sforzi per rilevare ^{4}He, un compito intrinsecamente difficile. I risultati sono stati interessanti, ma la riproducibilità è tutt'ora lungi dall'essere soddisfacente. Desidero richiamare l'attenzione su un segnale molto chiaro trovato dal Gruppo di Torino in un esperimento di caricamento gassoso[35], nonché un risultato complesso ma convincente ottenuto da Daniele Gozzi, dove il bilancio fra energia prodotta e numero di atomi di ^{4}He trovati è compatibile con il modello di fusione D+D[36]. Negli ultimi anni si è sviluppata una linea di studio del tutto nuova, nota come "trasmutazioni", dove, in esperimenti di vario tipo, vengono trovati isotopi stabili che erano assenti all'inizio dell'esperimento. Ciò sembra indicare la presenza di reazioni nucleari diverse dalla fusione D+D, il che è molto difficile da comprendere. Esiste un ampio spettro di pubblicazioni a riguardo, del quale citerò solo alcuni articoli rappresentativi presentati dal Gruppo dell'Università dell'Illinois guidato da George Miley[37] e dal Gruppo di Sapporo guidato da Tadahiko Mizuno[38]. Il campo delle trasmutazioni sembra in espansione, come evidenziato nella ICCF7 tenutasi a Vancouver, Canada, nell'aprile del 1998.

D. Molto si potrebbe dire sulle teorie: le idee che sono state presentate sono numerose ed estremamente varie. Ancora una volta, però, non tenterò di descriverle, limitandomi invece ad un paio di osservazioni di carattere generale. In primo luogo, il meccanismo ricorrente che tradizionalmente governa lo sviluppo della scienza, cioè l'alternanza fra teoria ed esperimento, cosicché possano controllarsi l'un l'altro, non è certo possibile se si è ancora alle prese con la scarsa riproducibilità: questo problema ha seriamente ostacolato lo sviluppo di teorie. Secondo, se si accetta, come faccio io, la natura nucleare dei fenomeni di FF, e si considerano i temi discussi nel sottoparagrafo dedicato alle "caratteristiche nucleari anomale", non si può spiegare la FF sulla base di interazioni a due corpi. È necessario imporre l'esistenza di un meccanismo collettivo e coerente che regoli il fenomeno. Un tale meccanismo venne immediatamente proposto da Preparata e coll. [9]; in seguito ne sono stati proposti altri, fra i quali segnalo quello suggerito da Scott e Talbot Chubb[39].

La comunità della FF: scienza e applicazioni

Per capire meglio lo status attuale della comunità della FF, sarà utile una premessa storica. Come ho detto all'inizio, verso la fine del 1989 ci fu un rifiuto della FF da parte della comunità scientifica tradizionale: tale rifiuto ebbe come strascico una particolare distribuzione geografica degli sforzi compiuti in questo campo. Negli USA c'erano molti gruppi di lavoro che operavano nonostante la carenza di fondi dedicati a questo fine dal DOE e dalla National Science Foundation. In Giappone l'interesse per la FF fu considerevole fin dall'inizio. In Europa, la ricerca fu continuativa presso diversi gruppi in Italia, più un piccolo Gruppo in Spagna. Anche la Cina e l'India furono attive nello studio sulla FF, e col tempo arrivò anche la Russia. La maggior parte di queste iniziative erano dovute a piccoli gruppi, che disponevano di pochi o zero fondi. Le loro attività sono dimostrate dalle Conferenze Internazionali tenutesi periodicamente sin da allora, 8 sino ad oggi. Ma ci furono anche tre grandi iniziative varate negli anni successivi al 1989:

A. L'EPRI (Electric Power Research Institute) investì fortemente nella ricerca sulla FF, dedicandosi inizialmente a svariate aree di studio, infine soprattutto ad esperimenti sul calore in eccesso con sistemi D/Pd, effettuati presso lo Stanford Research Institute (SRI). Questo progetto fu attivo per molti anni, prima di venire terminato nel 1995.

B. Un progetto importante venne condotto dall'IMRA, una istituzione legata al gruppo industriale giapponese Toyota (in effetti, fu una decisione personale di uno dei suoi dirigenti, Minoru Toyota). Furono creati tre laboratori: due in Giappone (a Sapporo ed a Nagoya), ed uno in Francia, a Sophia Antipolis, vicino Cannes (dove andarono poi a lavorare Fleischmann e Pons). Questo progetto è stato terminato di recente.

C. Un'altra importante iniziativa giapponese venne intrapresa dal Ministero per il Commercio Internazionale e l'Industria (MITI), con il contributo aggiuntivo di un consorzio industriale. Il progetto coinvolgeva un laboratorio specializzato costruito appositamente, nonché la collaborazione delle università per quanto riguardava gli aspetti più fondamentali. Questo progetto venne terminato nel 1998.

Si potrebbe essere tentati di interpretare la chiusura di questi tre importanti progetti come la dimostrazione che la ricerca sulla FF stia fallendo nel suo obiettivo di diventare una disciplina scientifica ben definita. Personalmente, sono convinto che questa interpretazione sia decisamente sbagliata. Mi spiego: una caratteristica che questi progetti hanno in comune è che furono tutti promossi da enti (in senso generale) fortemente interessati alle potenziali applicazioni energetiche della FF (è innegabile che il quadro che ho prima delineato indica che esiste la possibilità di produrre energia nucleare particolarmente pulita, cosa che l'umanità sogna da decenni). Questi enti si aspettavano pertanto di riuscire a sviluppare applicazioni pratiche della FF in pochi anni. Dalla mia descrizione dei progressi compiuti nella scienza della FF risulta chiaro che, nonostante le indubbie realtà scientifiche, i progressi sono stati molto lenti, sia per le difficoltà intrinseche del campo, sia per la scarsità delle risorse dedicate al suo studio. Siamo ancora lontani dal poter sviluppare delle applicazioni. Era quindi prevedibile che imprese nate con l'obiettivo di sviluppare ricadute applicative in poco tempo dovessero gettare la spugna. Sono tutt'ora convinto che sia necessaria molta ricerca di base, in modo da poter meglio comprendere la scienza alla base della FF, prima di poter perseguire in modo serio obiettivi pratici, e che tale ricerca possa essere fatta meglio da piccoli gruppi che procedano tenendo bene a mente questa idea.

Ed è proprio questo che penso stia cominciando a succedere. Ecco alcuni eventi che mostrano questa tendenza: l'elenco potrebbe (come spero) essere incompleto, ma dà comunque la sensazione che la FF stia finalmente cominciando a rientrare nel mondo scientifico.

A. A Grenoble, in Francia, il Commissariato per l'Energia Atomica francese e l'Institut Polytechnique di Grenoble hanno fondato un nuovo laboratorio che ha avviato un progetto di ricerca sulla FF.

B. Il Gruppo dello SRI, finanziato prima dall'EPRI per molti anni, poi dal MITI giapponese per un altro paio, sta attualmente facendo ricerca sulla FF con fondi stanziati dalla statunitense Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA).

C. In Italia è stata avviata una nuova iniziativa di collaborazione fra ENEA, INFN e LEDA (Laboratorio di ElettroDinamica Avanzata) che consentirà la creazione di un nuovo laboratorio all'ENEA di Frascati per un programma di ricerca sulla FF, a finanziamento statale, della durata minima di tre anni.

Posso inoltre aggiungere che una sessione del convegno annuale (del Centenario) dell'American Physical Society, tenutosi nel marzo del 1999, è stata intitolata "Palladium Electrochemistry" ed aperta ad interventi sulla FF.

Conclusioni

È stata una lunga storia; cercherò di concludere indicando alcuni aspetti significativi passati, presenti e futuri di questa strana avventura della FF.

Le realtà scientifiche

Non esiste ancora un dialogo efficace fra la comunità della FF e quella scientifica tradizionale. Ci sono estremisti da entrambe le parti: c'è chi afferma che la FF non esiste, e chi è convinto di aver già risolto i problemi energetici dell'umanità. Come ho chiarito in questo articolo, sono convinto che alcuni dei fenomeni noti con il nome di FF siano reali, in particolare la produzione di calore in eccesso e la sua origine nucleare. Sono inoltre convinto che si tratti di una materia molto complessa, che soltanto per capirne meglio i fenomeni di base sia necessario uno sforzo di ricerca più intenso e protratto nel tempo, e che sia troppo presto per considerarne le applicazioni pratiche. La riproducibilità è tutt'ora un problema importante, ma sono stati compiuti molti progressi, e penso che sia a portata di mano.

Aspetti sociologici

È ragionevole porsi la seguente domanda: com'è possibile che dopo più di dieci anni le posizioni estremiste sulla FF non si siano ammorbidite, e che ciò nonostante ci sia una piccola comunità (centinaia di scienziati) che continua a lavorare con entusiasmo, a dispetto delle grandi difficoltà causate dallo scetticismo generale? Mi sembra che la domanda abbia due risposte. La prima è legata al grande fascino esercitato dal tema della FF. C'è la speranza di risolvere uno dei problemi più gravi del mondo, il problema dell'energia. Riuscire nell'impresa significherebbe onori, gloria, ricchezza e via dicendo: anche se è molto difficile, anche se le probabilità di riuscire sono esigue, c'è chi pensa che valga la pena perseguire questo obiettivo. L'altra risposta è che, a prescindere dall'opinione che si può avere della comunità della FF, esistono dei risultati che sono reali: ad esempio, il calore in eccesso e le ceneri nucleari esistono davvero, malgrado la scarsa riproducibilità e tutte le difficoltà che ho descritto. Se non fossero reali, questo campo di ricerca sarebbe stato abbandonato molto tempo fa. Aggiungiamo il fatto che chi ha iniziato a lavorarci ed ha ottenuto dei risultati positivi crede nella realtà di questi risultati ed è disposto ad andare avanti per acquisire una migliore comprensione del fenomeno ed approssimarsi ad una qualche applicazione pratica. Si tratta indubbiamente di una situazione inusuale, come non se ne sono mai verificate in passato.

Il ruolo del caso

Mi sono ritrovato spesso a meditare sul ruolo svolto dal caso nella mia storia personale. Si pensi al primo episodio: tentiamo un esperimento che è molto ingenuo, lo facciamo ed otteniamo risultati spettacolari, due volte in una sola settimana. Ciò origina successo, eccitazione, impegno e così via. Nei due anni successivi ci rendiamo conto che questo è uno degli esperimenti meno riproducibili. Sorge quindi spontanea la domanda: se nel nostro primo tentativo non avessimo ottenuto alcuna emissione di neutroni, cosa avremmo fatto?
Ho ben chiara la risposta: avremmo abbandonato il campo dopo qualche altro tentativo negativo, proprio come hanno fatto molti altri, e non ci troveremmo adesso coinvolti nella ricerca sulla FF. Ora, a posteriori, sappiamo che la probabilità di trovare dei neutroni in quell'esperimento era molto esigua: dunque, il fattore determinante nella nostra partecipazione all'avventura della FF è stato il caso.

Si consideri poi la situazione di stallo in cui ci trovavamo verso la metà del 1991: delusi dalla mancata riproducibilità dei nostri esperimenti a caricamento gassoso, decidemmo di passare ad esperimenti sul calore in eccesso. Facemmo la prima esperienza con il palladio "buono", e rilevammo senza ombra di dubbio la produzione di calore in eccesso. Se avessimo invece cominciato con il palladio "cattivo" e non avessimo quindi trovato alcun eccesso di calore? Ci saremmo pienamente convinti dell'inesistenza del calore in eccesso e molto probabilmente avremmo abbandonato il campo. Ancora una volta, il fattore determinante per la continuazione della nostra attività è stato il caso.

Il futuro

È evidente che questo campo richiede uno sforzo più massiccio per poter conseguire dei progressi costanti. La diffusione della ricerca sulla FF nel resto della comunità scientifica contribuirebbe molto a tale risultato. Come ho già detto, ho la sensazione che ciò stia cominciando ad accadere, e sono ottimista circa gli sviluppi futuri. Per quanto riguarda i campi d'indagine, penso che i risultati più recenti indichino tre importanti aree di studio su cui concentrare l'attenzione: sistemi che producono calore in eccesso senza elettrolisi, esperimenti a temperature superiori (almeno un poco) a quella ambiente, e sistemi a bassa dimensionalità (polveri, fili, pellicole).

Le ragioni per cui si dovrebbe dedicare uno sforzo più massiccio allo sviluppo della FF sono chiare, almeno per me, e spero che anche voi le troviate convincenti, ora che avete raggiunto quest'ultimo paragrafo. Lo studio dei fenomeni collettivi e coerenti promette ricompense intellettuali molto elevate, e la speranza di contribuire alla soluzione dell'approvvigionamento energetico dell'umanità è di grande ispirazione. In ultimo, ma non certo di minore importanza, la sfida di studiare un campo non ben compreso è decisamente affascinante. Concludo citando una frase di Albert Einstein che ho letto presso il Museo dello Spazio di Washington: "L'esperienza più bella che possiamo avere è il mistero. È l'emozione fondamentale all'origine della vera arte e della vera scienza".

Bibliografia

Le Conferenze Internazionali sulla Fusione Fredda (International Conferences on Cold Fusion), della serie ICCFn, verranno citate spesso in questa bibliografia. Pertanto, a partire dalla ICCF3, i riferimenti bibliografici ne riporteranno soltanto la sigla.

ICCF3, *Frontiers of Cold Fusion*, a cura di H. IKEGAMI (Atti della III Conferenza Internazionale sulla Fusione Fredda, tenutasi a Nagoya, Giappone, 21-25 ottobre 1992), Universal Academy Press, Tokyo (1993).

ICCF4, *Proceedings of the Fourth International Conference on Cold Fusion* (Atti della IV Conferenza Internazionale sulla Fusione Fredda, tenutasi a Labaina, Hawaii, USA, 6-9 dicembre 1993), in: Transactions of Fusion Technology (una rivista della American Nuclear Society), Vol 26, n. 4T (1994).

ICCF5, *Proceedings of the Fifth International Conference on Cold Fusion* (Atti della V Conferenza Internazionale sulla Fusione Fredda, tenutasi a Montecarlo, Monaco, 19-24 aprile 1995), ICCF5, Valbonne, Francia (1995).

ICCF6, *Progress in New Hydrogen Energy Proceedings of the Sixth International Conference on Cold Fusion* (Atti della VI Conferenza Internazionale sulla Fusione Fredda, tenutasi a Hokkaido, Giappone, 1319 ottobre 1996), edito da "New Energy and Industrial Development Organization, The Institute of Applied Energy", 1997.

ICCF7, *Proceedings of the Seventh International Conference on Cold Fusion*, a cura di F. JAEGUR (Atti della VII Conferenza Internazionale sulla Fusione Fredda, tenutasi a Vancouver, Canada, 19-24 aprile 1998), copyright ENECO (1998).

1. FLEISCHMANN M., PONS S., *Electrochemically Induced Nuclear Fusion of Deuterium,* J. Electroanal. Chem., 261, 301 (1989); vedi anche FLEISCHMANN M., PONS S., *Errata*, J. Electroanal. Chem., 263, 197 (1989).
2. SCARAMUZZI F., *La fusione fredda otto anni dopo*, Energia, ambiente e innovazione, ENEA, 1/97, 29 (1997).
3. BERTALOT L., DE MARCO F., DE NINN0 A., LA BARBERA A,, SCAJCIEUZZI F., VIOLANTE V., ZEPPA P., *Study of Deuterium Charging in Palladium by Electrolysis of Heavy Water: Search for Excess Heat and Nuclear Ashes*, in: ICCF3, 362 (1993); BERTALOT L., DE MXCO F., DE NINNO A., LA BARBERA A., SCAICSIUZZI F., VIOLANTE V., ZEPPA P., *Study of Deuterium Charging in Palladium by the Electrolysis of Heavy Water. Excess Heat Production*, Il Nuovo Cimento, 15D, 1435 (1993).
4. DE MARCO F., DE NINNO A., FRARROLILLO A., LA BARBERA A., SCARAMUZZI F, VIOLANTE V., *Progress Report on the Research Activities on Cold Fusion at ENEA Frascati,* in: ICCF6, Vol. 1, 145 (1997).

5. HODDESON L., BRAUN E., TEICHMANN J., WEART S., *Out of the Crystal Maze*, Oxford University Press, 121 (1992).

6. GOODSTEIN DL., *Whatever Happened to Cold Fusion?*, The American Scholar, 63, 527 (1994); apparso anche su Engineering e Science, autunno 1994, 14 [traduzione italiana: *Che fine ha fatto la fusione fredda?*, Sapere, 62, n.2, 56 (1996)].

7. LEGGET AJ., BAYM G., *Exact Upper Bond on Barrier Penetration Probabilities in Many-Body Systems: Application to Cold Fusion,* Phys. Rev. Lett., 63, 191 (1989).

8. PREPARATA G., *The Mössbauer effect: a glimpse of the stunning QED coherence of matter,* in: ORTALLI I. (a cura di), ICAME-95, Conference Proceedings, Editrice Compositori, Bologna, 955 (1995).

9. BRESSANI T., DEL GIUDICE E., PREPARATA G., *First Steps Toward an Understanding of 'Cold' Nuclear Fusion*, Il Nuovo Cimento, 101A, 845 (1989).

10. JONES S.E. PALMER E.P., CZIRRJ.B., DECKER DL., JENSEN G.L., THORNE J.M., TAYLOR ST., RAPELSKI J., *Observation of cold nuclear fusion in condensed matter*, Nature, 338, 737 (1989).

11. DE NINNO A., FRATTOLILLO A., LOLLOBATTISTA G., MARTINIS L., MARTONE M., MORI L., PODDA S., SCARAMUZZI F., *Emission of Neutrons as a Consequence of Titanium-Deuterium Interaction,* Il Nuovo Cimento, note brevi, 101, 841 (1989); Evidence of Emission of Neutrons from a Titanium-Deuterium System, Europhysics Letters, 9 (3), 221 (1989).

12. FABRIZIO M., MANDUCHI C., MENGOLI G., MILLI E., ZANNONI G., *Emissione di neutroni dall'interazione di deuterio gassoso con titanio e con leghe a base di palladio*, in: STELLA B. (a cura di), Proceedings of the Rome Workshop on the Status of Cold Fusion in Italy (Atti del Workshop sullo Stato della Fusione Fredda in Italia, tenutosi presso la III Università di Roma, 13-16 febbraio 1993), 74 (1993).

13. D'AMATO F., DE NINN0 A., LANZA F.. PONTORIERI C., SCARAMUZZI F., ZEPPA P., *Search for Nuclear Phenomena by the Interaction Between Titanium and Deuterium, in: Proceedings of the First Annual Conference on Cold Fusion* (Atti della Prima Conferenza Internazionale sulla Fusione Fredda, promossa dal National Cold Fusion Institute e tenutasi a Salt Lake City, Utah, USA, 28-31 marzo 1990), 170 (1990).

14. DE NINNO A., PONTOMERI C., SCARAMUZZI F., ZEPPA P., *Emission of Neutron Bursts from a Titanium-Deuterium Cs System* in a High-Efflcienc Low-Background Experimental Setup, in: Jones SE., Scaramuzzi F., Worledge d. (a cura di), Proceedings of the Conference on Anomalous Nuclear Ef,tàcts in Deuterium/ Solid Systems (Atti della Conferenza sugli

Effetti Nucleari Anomali nei Sistemi solidi/deuterio, tenutasi a Provo, Utah, USA, 1990), American Institue of Physics (Conference Proceedings 228), 122 (1991).

15. DE NINN0 A., FRATT0LILLO A., LANZA F., MIGLIORI S., PONTORIERI C., SCAGLIONI S., SCARAMUZZI F., ZEPPA P., THE SCIENCE OF COLD FUSION, IN: BRESSANI T., DEL GIUDICE E., PREPARATA G. (a cura di), *Proceedings of the H Annual Conference on Cold Fusion* (Atti della II Conferenza Annuale sulla Fusione Fredda, tenutasi a Como, 29 giugno - 4 luglio, 1991), Società Italiana di Fisica (Conference Proceedings 33), 129 (1991).

16. SEGRE SE., AIZENI S., BRIGUGLIO S., ROMANELLI F., *A Mechanism for Neutron Emission from Deuterium Trapped* in Metals, Europhysics Letters, 11, 201 (1990).

17. TABET E., TENENBAUM A., *Displacement .110w and deuteron drag in a metal: a path towards cold fusion,* in: RICCI RA., DE MARCO F., SINDONI E. (a cura di), *Understanding Cold Fusion* (Atti della Conferenza tenutasi a Varenna, 15-16 settembre 1989), Società Italiana di Fisica, Vol. 24, 175 (1990).

18. MCKUBRE M.C.H., ROCHA-FILHO R., SMEDLEY SI., TANZELLA FL., CROUCH-BAKER S., PASSELL TO, SANTUCCI J., *Isothermal flow: calorimetric investigations of the D/Pd system,* in: BRESSANI, T., DEL GIUDICE E., PREPARATA G. (a cura di), *Proceedings of the HAnnual Conference on Cold Fusion* (Atti della II Conferenza Annuale sulla Fusione Fredda, tenutasi a Como, 29 giugno - 4 luglio, 1991), Società Italiana di Fisica (Conference Proceedings 33), 419 (1991).

19. MILES M.H., BUSH B.F., OSTROM G.S., LAGOWSKI J.J., *Heat and Helium Production in Cold Fusion*, in: BRES5ANI T., DEL GIUDICE E., PREPARATA G. (a cura di), *Proceedings of the HAnnual Conference on Cold Fusion* (Atti della II Conferenza Annuale sulla Fusione Fredda, tenutasi a Como, 29 giugno - 4 luglio, 1991), Società Italiana di Fisica (Conference Proceedings 33), 363 (1991).

20. BERTALOT L., BE'ITINALI L., DE MANCO F., VIOLANTE V., DE LOGU P., DIKONIMOS MAKRIS T., LA BARBERA A., *Analysis of tritium and heat excess in electrochemical cells with Pd cathodes*, in: BRESSANI T., DEL GIUDICE E., PREPARATA G. (a cura di), *Proceedings oftheHAnnual Conference on Cold Fusion* (Atti della il Conferenza Annuale sulla Fusione Fredda, tenutasi a Como, 29 giugno - 4 luglio, 1991), Società Italiana di Fisica (Conference Proceedings 33), 3 (1991).

21. BERTALOT L., DE NINN0 A., DE MARCO F., LA BARBERA A., SCARAMUZZI F., VIOLANTE V., *Power Excess Productyion in Electrolysis Experiments at ENEA Frascati*, in: ICCF5, 34 (1995).

22. DE NINN0 A, LA BARBERA A., VIOLANTE V., *Selection on Palladium metallurgical parameters to achieve very high loading ratios*, in: ICCF6, Vol. 1, 192 (1997); Deformations Induced by High Loading Ratios in Palladium-Deuterium Compounds, journal of Alloys and Compounds, 253, 181 (1997); Consequences of Lattice Expansive Strain Gradients on Hydrogen Loading in Palladium, Phys. Rev. B, 56, 2417 (1997); DE NINNO A., VAROLI ANTISARI M., GIANGIORDANO C., *Material science studies aimed at improving the reproducibility of the heat excess experiments*, in: ICCF7, 103 (1998).

23. BERTALOT L., DE MARCO F., DE NINNO A., FELICI R., LA BARBERA A., SCARAMUZZI F., VIOLANTE V., *Deuterium charging in palladium by the electrolysis of heavy water: measurement of the lattice parameter*, in: ICCF4, 122 (1994); FELICI R., BERTALOT L., DE NINNO A., LA BARBERA A., VIOLANTE V., *In situ Measurement of the Deuterium (Hydrogen) Charging of a Palladium Electrode During Electrolysis by Energy-Dispersive X-ray Radiation, Rev. Sci*. Instrum., 66, 3344 (1995).

24. STORMS E., *Review of Experimental observations about the Cold Fusion Effect, Fusion Technology*, 20, 433 (1991); Critical Review of the Cold Fusion Effect, Scientific Exploration, 10, 186 (1996).

25. MENGOLI G., BERNARDINI M., MANDUCHI C., ZANNONI G., *Calorimetry Close to the Boiling Temperature* of the D20/Pd Electrolytic System, J. Electroanal. Chem., 444, 1255 (1998).

26. PONS S., FLEISCHMANN M., *Heat After Death*, in: ICCF4, 87 (1994).

27. PREPARATA G., comunicazione personale.

28. PREPARATA G., SCORLETTI M., VERPELLI M., *Isoperbolic Calorimetry on Modified Fleischamann-Pons Cells*, J. Electroanal. Chem., 411, 9 (1996).

29. CELANI F., *comunicazione personale*.

30. SCHWINGER J., *Nuclear Energy in an Atomic Lattice, in: Proceedings of the First Annual Conference on Cold Fusion* (Atti della Prima Conferenza Internazionale sulla Fusione Fredda, promossa dal National Cold Fusion Institute e tenutasi a Salt Lake City, Utah, USA, 28-31 marzo 1990), 130 (1990); Nuclear Energy in an Atomic Lattice. 1, Z. Phys. D, 15, 221 (1990); Cold Fusion: A Hypothesis, Z. Naturforsch, 45a, 756 (1990); Cold Fusion: Does It Have a Future?, in: Evolutionary Trends of Physical Sciences, Springer-Verlag, Germania (1991); Phonon Representations, Proc. Nat. Acad. Sci,, 87, 6983 (1990); Phonon Dynamics, Pro. Nat. Acad. Sci., 87, 8370 (1990); Nuclear Energy in an Atomic Lattice - Casual Order, Prog. Theor. Phys., 85, 711 (1991); Cold Fusion Theory - A Brief History of Mine, in: ICCF4, xiii (1994).

31. Cito solo alcuni dei numerosi articoli sull'argomento: NOTOYA R., ENYO M., *Excess Heat Production During Electrolysis of F120 on Ni, Au, Ag and Sn Electrodes in Alkaline Media*, in: ICCF3, 421 (1993); R.T. BUSH, R.D. EAGLETON, C*alorimetric Studies for Several Light Water Electrolytic Cells With Nickel Fibrex Cathodes and Electrolytes With Alkali Salts of potassium, Rubidium and Cesium*, in: ICCF4, 13 (1994).

32. CRAVENS D., *Flowing Electrolyte Calorimetry,* in: ICCF5, 79 (1996).

33. FOCARDI S., HABEL R., PIANTELLI P., *Anomalous Heat Production in Ni-H Systems,* Il Nuovo Cimento, note brevi, 107A, 163 (1994).

34. TAKAHASHI A., *Results of Experimental Studies on Excess Heat vs. Nuclear Products - Correlation and Conceivable Reaction Model*, in: ICCF8, 378 (1998).

35. BOTTA E., BRESSANI T., CAIVO D., FANARA C., IAZZI F., *Measurements on 4He Production from D2 Gas-Loaded Pd Sample*, in: ICCF6, Vol. 1, 29 (1997).

36. GOZZI D. E COLL., *X-rays, Heat Excess and 4He in the D/Pd System*, J. Electroanal. Chem., 435, 113 (1997); erratum, J. Electroanal. Chem., 452, 251 (1998).

37. MILEY G.H., NARNE G., WILLIAMS M.J., PATIT.RSON J.A., NRS J., CRAVENS D., H0RA H., *Quantitative Observation of Transmutation Products Occurring in Thin Film Coated Microspheres During Electrolysis*, in: ICCF6, Vol. 2, 629 (1997).

38. MIZUNO T., OHMORI T., AKIMOTO T., KUROKAWA K., KILAICHI M., INODA K., AZUMI K., SHIMOKAWA S., EIWO M., *Isotopic Distribution for the Elements Evolved in Palladium Cathode After Electrolysis in D20 Solution*, in: ICCF6, Vol. 2, 665 (1997); OHM0M T., MIZUNO T., ENYO M., *Production of Heai.y Metal Elements and the Anomalous Surface Structure of the Electrode Produced During the Light Water Electrolysis on Au Electrode*, in: ICCF6, Vol. 2, 670 (1997).

39. CHUBB SR., CHUBB TA., *Periodic Order Symmetry and Coherence in Cold Fusion,* in: ICCF7, 73 (1998).

CAPITOLO 2
RICERCA NEI DIPARTIMENTI ENEA

(A cura di SERGIO MARTELLUCCI)

2.1. Introduzione

In questo Capitolo sono riprodotti i contributi inviati in risposta alla mia lettera di richiesta di partecipare all'iniziativa della pubblicazione di questo volume ai ricercatori che hanno operato in questo settore di ricerca presso i Laboratori di ricerca dei Dipartimenti ENEA.

Il Consiglio Scientifico dell'ENEA, insediato dal Presidente Carlo Rubbia l'8 febbraio 2005 ha acquisito, attraverso un'indagine conoscitiva durata circa un anno, le informazioni sulla ricerca sulla Fusione Fredda condotta in ENEA, che sono riassunte nel paragrafo 3.6 della "Relazione del Consiglio Scientifico sulle attività programmatiche dell'ENEA presenti e future" del maggio 2006, riprodotte integralmente di seguito.

"Fin dall'annuncio nel 1989 della scoperta di fenomeni anomali nella materia condensata ad opera di Fleischmann e Pons notevoli attività di ricerca sulla fusione fredda sono state intraprese in tutto il mondo.

Contributi particolarmente importanti sono stati forniti dall'Italia ad opera dell'ENEA.

Le attività di ricerca sono proseguite negli anni nonostante l'iniziale entusiasmo abbia subito un notevole ridimensionamento in conseguenza dei risultati sperimentali che testimoniavano della scarsa riproducibilità dei fenomeni nonché della loro entità al limite della misurabilità che ne metteva addirittura in dubbio l'esistenza.

Oggi gli Istituti maggiormente impegnati in questo settore di ricerca sono SRI International (Menlo Park, California), l'Università dell'Illinois, l'Università di Osaka, l'Università di Sapporo, l'Università di Tokio, l'Università di Pechino e, in Italia, ENEA e INFN. Anche diverse società private sono impegnate nel campo, fra cui Mitsubishi e Energetics Technologies Ltd. (USA).

Le attività in ENEA hanno riguardato due generi di esperimenti perseguiti con differente impegno, entrambi in cella elettrolitica. L'esperimento maggiore ha riguardato una verifica della teoria del Prof. G. Preparata concernente il caricamento di deuterio in elettrodi di palladio.

È previsto che il caricamento sia anche influenzato dal potenziale elettrico del catodo. L'esperimento, eseguito con catodi costituiti da un filo molto sottile ricoperto di palladio (~50 μ) e lungo (~ 1 m) per produrre una sensibile caduta di potenziale, è stato portato a termine nel 2002, in collaborazione con la Società LEDA. Esso ha fornito indicazioni di caricamenti secondo la teoria e produzione di ceneri nucleari (^{4}He).

È tuttavia da sottolineare che la ridotta massa di palladio utilizzata negli esperimenti ha reso necessario, per la misura degli effetti, l'uso di strumenti molto sofisticati e procedure sperimentali complesse con conseguente aumento dell'incertezza statistica dei risultati.

L'utilizzo di catodi che facciano uso di masse utili di palladio decisamente superiori renderebbe più agevole uno studio dettagliato per capire la natura del fenomeno e la sua scalabilità a livelli che ne consentano una utilizzazione pratica.

L'esperimento nella sua configurazione canonica può comunque ritenersi concluso.

Il secondo genere di esperimenti è fatto in collaborazione con le Università di Roma Tor Vergata e La Sapienza ed è originato dall'esperienza maturata nello sviluppo di membrane di palladio per il ciclo del combustibile della fusione termonucleare controllata. Gli studi della metallurgia hanno permesso la messa a punto di un procedimento brevettato per ottenere catodi per l'eventuale fusione fredda che permettano alti caricamenti di deuterio in palladio. È noto infatti che condizione necessaria per l'emissione di potenza da fusione fredda è l'inserimento, ad esempio tramite elettrolisi, di atomi di deuterio all'interno del reticolo del palladio fino ad una concentrazione dell'ordine di 1 :1. Mentre è abbastanza facile ottenere il caricamento fino a concentrazioni dell'ordine di 0.6, valori superiori si ottengono solo con metodi o tecnologie speciali. Il metodo messo a punto dall'ENEA permette alti caricamenti con elevato grado di affidabilità e riproducibilità. I catodi ENEA hanno sollevato interesse in sede internazionale dando origine ad una attività commerciale che ha portato alla vendita di diversi esemplari alla SRI International ed alla Energetics Technologies Ltd. I risultati ottenuti hanno pienamente corrisposto alle aspettative con produzione di notevoli eccessi di potenza. Al di là della produzione e della caratterizzazione di catodi le attività svolte in ENEA in questo genere di esperimenti hanno riguardato, con risultati promettenti, la stimolazione mediante laser dello start dell'emissione di calore degli elettrodi debitamente caricati in deuterio.

Le ricerche sulla fusione fredda con tale metodo sono state inserite come argomento prioritario nell'accordo di collaborazione recentemente formalizzato da ENEA e Pirelli Labs. Esse poi sono state oggetto di uno specifico finanziamento ad opera del MAP[1].

Le attività continueranno con lo sviluppo della metallurgia (attualmente è in corso l'acquisizione di un secondo brevetto) e della stimolazione laser."

Il lettore potrà acquisire direttamente altre informazioni più dettagliate sia nei contributi già riprodotti nel Capitolo 1, che in quelli riportati in questo stesso Capitolo.

La collaborazione internazionale, che si è ricordata anche nella "Prefazione" al volume, con la SRI International, la Energetics Technologies Ltd e l'NRL di Washington (USA) in collaborazione con il gruppo di ricerca diretto dai Proff. Mario Bertolotti e Concita Sibilia del Dipartimento di Energetica dell'Università "La Sapienza" di Roma, sono attualmente oggetto di una formalizzazione con ENEA.

Seguendo i criteri di accettazione dei contributi stabiliti con il Comitato Editoriale Internazionale della collana, già ricordati nella Prefazione, non è stato riprodotto il contributo inviato da Salvatore Scaglione del CR ENEA – Casaccia (Roma): "Produzione di neutroni e trizio nell'interazione tra gas di deuterio e titanio", A. De Ninno, F. Scaramuzzi, A. Frattolillo, S. Migliori, F. Lanza, S. Scaglione, P. Zeppa, C. Pontorieri, perché già pubblicati sui Conference Proceedings della SIF di Bologna del 1991, Vol 33, "The Science of Cold Fusion", Editori: T. Bressani, E. Del Giudice,e G. Preparata.

[1] MAP = Ministero Attività Produttive

2.2. La Fusione Fredda all'ENEA di Frascati dal 1989 al 1998

FRANCESCO SCARAMUZZI
INFN - Laboratori Nazionali Frascati

La storia

Alla fine del marzo 1989, a seguito delle notizie sulla "Fusione Fredda" (FF) giunte dallo Utah (1,2), sia da Martin Fleischmann e Stanley Pons (F&P), che operavano a Salt Lake City, sia da Steven Jones, che operava a Provo, anche all'ENEA, in sintonia con quanto succedeva in tutto il mondo scientifico, partirono iniziative tese a verificare gli "strabilianti" risultati annunciati.

A Frascati, presso il Dipartimento FUS, sede ufficialmente deputata agli studi sulla fusione nucleare, partì un programma promosso dalla Direzione dell'Ente, mirato a mettere in evidenza la produzione di neutroni e di trizio in una cella elettrolitica con acqua pesante e catodo di palladio (c'era molto scetticismo circa la produzione di calore vantata da F&P). Di questa attività parla nella sua relazione Aurelio La Barbera, un elettrochimico del Centro ENEA della Casaccia, "prestato" al Centro di Frascati per l'occasione.

Quasi in contemporanea partiva, sempre a Frascati, un altro filone di ricerca nato spontaneamente nel Laboratorio di Spettroscopia Molecolare del Dipartimento TIB (Tecnologie Intersettoriali di Base), ed in particolare nella struttura "criogenica" operante in quel laboratorio. Il nocciolo di questa iniziativa consisteva nel tentativo, forse ingenuo, ma certamente affascinante, di evitare le complessità dell'elettrolisi, puntando su una interazione diretta tra un metallo e il deuterio in fase gassosa. Non disponendo il Laboratorio di palladio, si pensò di usare al suo posto titanio, che Jones aveva usato, oltre al palladio, per i suoi esperimenti, di più facile reperibilità e di minor costo, e che ha una ottima capacità di assorbire deuterio. Influenzati dall'abitudine alle basse temperature, e cercando comunque di creare le condizioni per una situazione "non stazionaria" (questo era uno degli ingredienti della "ricetta" che circolava in quei giorni), si pensò di mettere trucioli di titanio, ottenuti lavorando un tondino al tornio, in un contenitore a tenuta di vuoto, in grado di reggere un'elevata pressione, e costruito in modo da poter essere inserito in un dewar di azoto liquido.

Una volta inserito deuterio gas nel contenitore (qualche decina di bar), si alternavano periodi a 77 K con periodi a temperatura ambiente, realizzando in tal modo le programmate condizioni di non-equilibrio. Si puntava anche qui, sempre per lo scetticismo sugli eccessi di calore di F&P, alla rivelazione di eventuali neutroni emessi dal sistema, e per questo obiettivo si chiese l'aiuto di colleghi del Dipartimento Fusione, esperti di neutronica (Marcello Martone e Salvatore Podda). Gli esperimenti iniziarono ai primi di aprile e, nel giro di un paio di settimane, si ebbero risultati molto vistosi (Capitolo 2).

Questi risultati produssero, con la benedizione della Direzione dell'ENEA, una grandissima popolarità agli autori e all'ENEA stesso. [Nell'articolo scritto anni dopo da David Goodstein (3) si può trovare una sapida descrizione della situazione che si creò]. La popolarità conseguita dal Gruppo ENEA/TIB fu sicuramente sproporzionata rispetto all'entità dei risultati, ma non si riuscì a moderarla, nonostante le affermazioni riduttive degli autori. In particolare, l'aspetto più preoccupante era la scarsa riproducibilità dei risultati (questo sarebbe diventato nel seguito un "incubo" per l'intera linea di ricerca) e questo aspetto era stato sottolineato dagli autori in tutte le loro comunicazioni, scritte ed orali. Al tempo stesso la popolarità ed il coinvolgimento della Direzione dell'ENEA assicurarono a questa attività uno sviluppo futuro, anche quando, pochi mesi dopo, la comunità scientifica internazionale decretò, con eccessiva fretta e superficialità, che la FF non era una cosa seria (3). Come è noto, a partire da quel momento, coloro che conducevano attività di ricerca sulla FF non riuscirono più ad intrattenere un colloquio serio con il mondo scientifico, e questo ha prodotto anche parecchie distorsioni in quella piccola comunità.

Le ricerche all'ENEA continuarono per un paio di anni, con risultati sempre insoddisfacenti ai fini della riproducibilità. Si ottennero finanziamenti; si acquisirono strumenti di miglior qualità, in particolare per la rivelazione dei neutroni; si stabilirono collaborazioni, anche internazionali, per la misura dei neutroni [LANL (*Los Alamos National Laboratory*, TN), BYU (*Brigham Young University*, Provo, UT)] e del trizio (Euratom, Ispra); si avviò un esperimento nel Laboratorio del Gran Sasso dell'INFN, una struttura posta a circa 1700 metri sotto il suolo, dove il "fondo" dei neutroni naturali è circa 1000 volte inferiore a quello che si ha in superficie.

Nel frattempo si erano tenuti vari convegni, ai quali i gruppi dell'ENEA parteciparono e presentarono comunicazioni: il W*orkshop on Cold Fusion*

Phenomena, organizzato dal DOE (*Department of Energy* degli USA) e dal LANL a Santa Fè nel New Mexico nel maggio 1989; un *workshop*, anch'esso internazionale, organizzato dalla SIF (Società Italiana di Fisica) a Varenna sul Lago di Como, dal titolo "*Understanding Cold Fusion Phenomena*" nel settembre1989; *The First Annual Conference on Cold Fusion*, organizzata dal *National Cold Fusion Institute* (una emanazione della Università dello Utah) a Salt Lake City nel marzo del 1990; una conferenza organizzata dagli "obiettori all'eccesso di calore" a Provo, nello Utah, nell'ottobre 1990, dal titolo "*Anomalous Nuclear Effects in Deuterium/Solid Systems*", i cui Proceedings furono pubblicati a cura dello AIP (*American Institute of Physics*).

Una svolta per i Gruppi ENEA si ebbe in occasione della conferenza che si tenne a Como nella settimana a cavallo tra giugno e luglio del 1991, organizzata da Tullio Bressani, Emilio Del Giudice e Giuliano Preparata, i cui rendiconti, dal titolo: *The Science of Cold Fusion; Proceedings of the II Annual Conference on Cold Fusion*, furono pubblicati dalla SIF nel volume 33 della serie *Conference Proceedings*. Entrambi i Gruppi dell'ENEA di Frascati presentarono i loro risultati. Il Gruppo TIB presentò i risultati delle misure fatte al Gran Sasso, che erano sostanzialmente negativi, e una relazione generale sulle misure in "*gas loading*". In questa Conferenza il quadro delle ricerche sulla FF si chiarì alquanto. Da un lato si ebbero numerose conferme sulla rivelazione di eccesso di calore, dall'altro il quadro delle misure di radiazioni - neutroni, trizio e particelle cariche - apparve confuso, contraddittorio e non correlato all'eccesso di calore. Inoltre, a proposito delle misure di eccesso di calore, ci furono due importanti contributi: la correlazione tra la produzione di calore e il caricamento del palladio (D/Pd > 0.9, atomico) presentata dal Gruppo di Michael McKubre dello *Stanford Research Institute* (Stanford, CA, USA); la correlazione tra eccesso di calore e produzione di ^{4}He, inteso come cenere nucleare del processo, presentata dal Melvin Miles del *Naval Weapons Center* [China Lake, CA, USA, uno dei laboratori coordinati dallo *Naval Research Laboratory* (NRL)].

Un tale quadro indusse i due Gruppi dell'ENEA a una valutazione critica dell'attività svolta fino a quel momento, e li portò a proporre un programma diverso. Si decise di unire le forze dei due Gruppi e di tentare una misura dell'eccesso di calore, mettendo insieme le conoscenze di termodinamica ed elettrochimica del TIB, utili per una buona calorimetria, e per la realizzazione della cella elettrolitica, e quelle del FUS per le misure nucleari.

Questo programma fu messo in opera nel 1992, e si ebbe subito una chiara evidenza di eccesso di calore in tre esperimenti successivi: una comunicazione fu presentata alla Conferenza ICCF3 (*3rd International Conference on Cold Fusion*) a Nagoya in Giappone. Questo risultato positivo ebbe l'effetto di un rilancio nell'attività del Gruppo. Proseguirono negli anni successivi misure di eccesso di calore con geometrie diverse, e cercando di sviluppare anche le tecniche per la misura del caricamento (D/Pd *ratio*) e quelle per la determinazione di tracce di ^{4}He (Capitoli 3 e 5).

Merita di essere ricordato qui un episodio che getta una luce interessante sul fenomeno della scarsa riproducibilità. Per i primi tre esperimenti su citati si usò l'ultima laminetta di palladio in possesso del Gruppo FUS. Visto il successo dell'esperimento, si ordinò altro palladio alla stessa ditta che aveva fornito la laminetta usata, raccomandando che avesse le stesse caratteristiche di quello già fornito. Quando si fecero esperimenti con il "nuovo" palladio, non si riuscì più a mettere in evidenza la produzione di calore in eccesso. Fu chiaro a questo punto che le caratteristiche del palladio, determinate dai vari trattamenti subiti in precedenza, termici e meccanici, influenzavano in modo determinante il caricamento di deuterio, e, di conseguenza, la riproducibilità degli esperimenti di FF. Per questo motivo partì in seno al Gruppo una iniziativa mirata a studiare questo fenomeno, avendo come filo conduttore lo scopo di ottenere alti caricamenti. A conclusione di questo sforzo, si mise a punto un particolare trattamento dei campioni per determinarne alcuni parametri significativi, e inoltre si ideò una più efficace procedura di caricamento. I risultati furono soddisfacenti: su una serie di campioni si ebbe produzione di eccesso di calore con una elevata riproducibilità. Comunicazioni in merito furono presentate alla Conferenza ICCF6 a Toya in Giappone nel 1996 (Capitolo 4).

Seguirono anni di declino del Gruppo. La Direzione dell'Ente era sempre più restia a sostenere questa linea di ricerca, ormai circondata da un pesante scetticismo in tutto il mondo scientifico. Inoltre, il Gruppo si assottigliò notevolmente. Nel 1998 la consistenza del Gruppo era costituita dal sottoscritto, da Antonella De Ninno e da un impegno parziale (vedi Capitolo 5) di Antonio Frattolillo. Un rilancio fu tentato quell'anno, in virtù di una proposta di Giuliano Preparata, il quale, oltre agli importanti contributi in campo teorico, aveva realizzato un esperimento significativo in un laboratorio finanziato da imprenditori privati a Milano (LEDA), e propose all'ENEA un programma congiunto tra LEDA e ENEA.

C'era stato anche un interessamento in ambienti politici e sembrava di poter fare affidamento su un sostanzioso finanziamento. L'iniziativa andò avanti faticosamente: comunque, nel luglio del 1998 il Consiglio di Amministrazione dell'ENEA (Presidente Nicola Cabibbo, Direttore Generale Renato Strada) approvò il lancio del programma, e nel corso del 1999 si cominciò a realizzare al Centro di Frascati un nuovo laboratorio, mentre in parallelo si montavano nuovi esperimenti nei vecchi locali dell'edificio Liquefattore, contando anche sulla strumentazione messa a disposizioone da LEDA, e con un finanziamento fornito dall'ENEA (beninteso, i fondi promessi dal mondo politico non arrivarono mai). Partirono i primi esperimenti, e l'atmosfera era di nuovo tornata positiva. Poi, disgraziatamente, Giuliano Preparata morì (24 aprile 2000). Dopo quell'evento (che quasi coincise con la "8th International Conference on Cold Fusion", tenuta a Lerici ed organizzata dall'ENEA) il Gruppo che si era costituito attorno a Giuliano Preparata continuò a lavorare attivamente per altri 2-3 anni, ottenendo risultati molto interessanti: di questa attività il lettore troverà un accurato resoconto in un articolo di Antonella De Ninno e Antonio Frattolillo, pubblicato in questo volume. Nel tempo, peraltro, e, il Gruppo si disfece del tutto. Oltre alla relazione su citata, il lettore troverà in questo volume una relazione del sottoscritto su un esperimento mirato a studiare il caricamento del palladio con deuterio in fase gassosa ed a basse temperature, anch'esso iniziato nell'ambito del Gruppo guidato da Preparata; e, infine, una relazione di Vittorio Violante su una linea di ricerca da lui intrapresa.

Le misure in gas (1989-91)

L'apparato sperimentale era molto semplice e il suo schema è riportato in Fig. 1. Il campione di titanio in trucioli era contenuto in un recipiente di acciaio inossidabile posto in prossimità di un contatore di neutroni a BF_3, nel quale si introduceva poi deuterio gas alla pressione di qualche decina di bar. Immergendo il sistema in un dewar di azoto liquido (77 K) e poi estraendolo si realizzavano condizioni di non-equilibrio.
Si ebbero in breve tempo due eventi di notevole entità, che sono riportati nelle Figg. 2 e 3. Il primo, della durata di circa 40 ore, si manifestò durante il raffreddamento del campione; il secondo, che durò circa 16 ore, si manifestò al termine di una risalita di temperatura. L'entità della emissione di neutroni era per entrambi di gran lunga superiore ai valori di fondo. A questo punto i risultati ottenuti vennero comunicati, sia in seminari che con pubblicazioni (4). Un evento molto simile al secondo fu sperimentato nel seguito dal Gruppo di Padova (CNR/Università) (5).

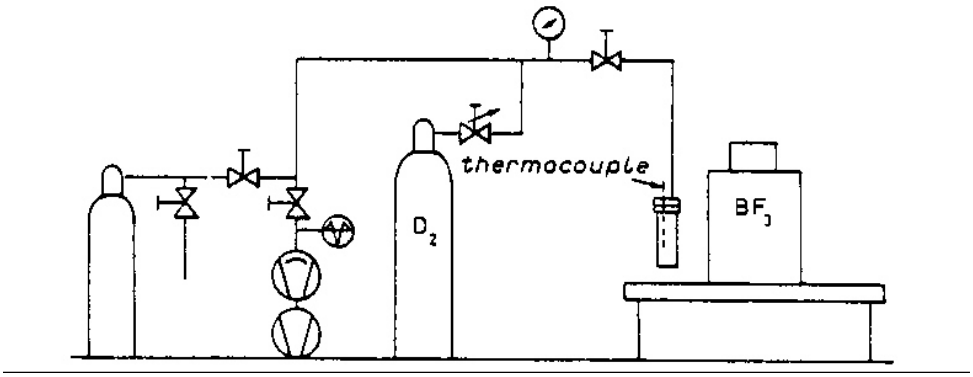

Fig. 1 - L'apparato sperimentale per le misure in gas

Una modesta presenza di trizio fu messa in evidenza esaminando "*post mortem*" il titanio usato (6).

I numerosi tentativi di ripetere questi eventi dettero risultati modesti e comunque di minore entità. L'arricchimento della strumentazione e gli esperimenti al Laboratorio del Gran Sasso non fornirono i risultati sperati, e pertanto si giunse, come già raccontato nel Capitolo 1, alla decisione di abbandonare questa strada, e di tentare la misura del calore in eccesso in una cella elettrolitica.

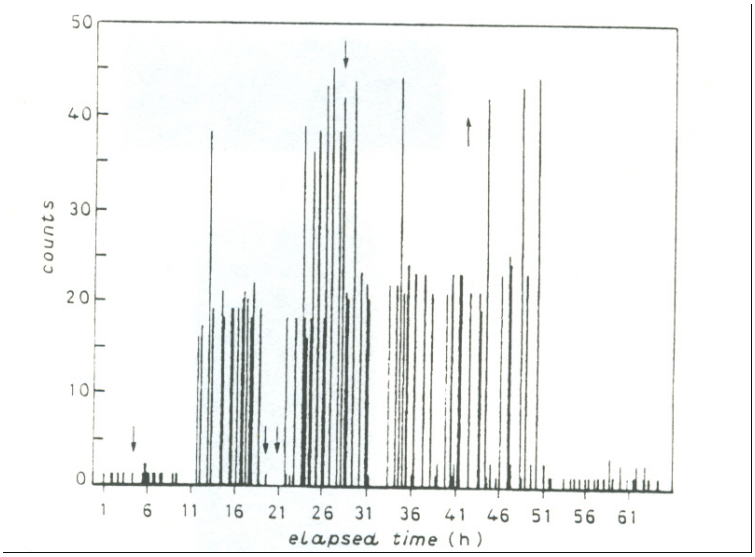

Fig. 2 - Il primo evento (7-10 aprile 1989)

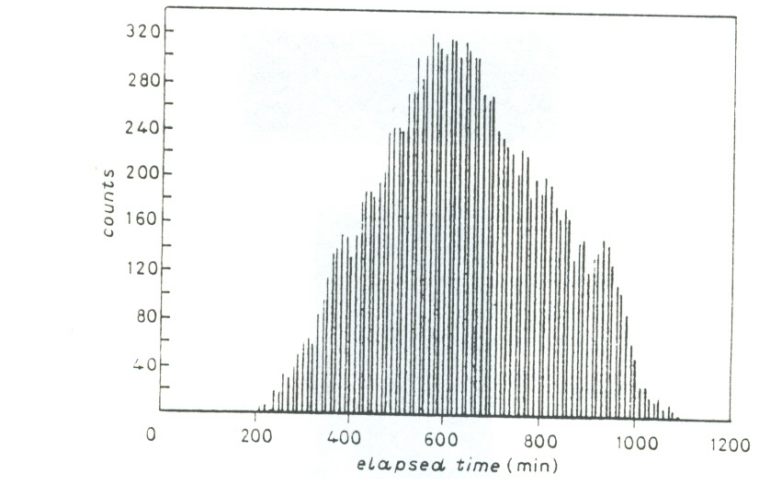

Fig. 3 - Il secondo evento (15-16 aprile 1989)

Alla luce delle informazioni emerse nel seguito e, in particolare, dell'ipotesi che la FF "vera e propria" nel sistema palladio-deuterio è la produzione di calore e di ^{4}He, inteso come unica cenere nucleare del processo, sembra ragionevole che i risultati sopra descritti possano essere inquadrati in un'altra categoria, quella costituita da fusioni termonucleari in domini microscopici. Questa ipotesi fu presa in considerazione da alcuni ricercatori, i quali tentarono di elaborare teorie che rendessero conto dei risultati sperimentali. In particolare, si suggerì un meccanismo basato sulla creazione di campi elettrici in occasione dell'assorbimento di deuterio in palladio (7); un'altra ipotesi consisteva in un meccanismo di natura meccanica, dovuto al collasso del reticolo (8). Si potrebbe anche pensare che questi dati siano di fatto da considerare come "precursori" degli esperimenti del Gruppo Taleyarkan di *Oak Ridge*, nei quali fusioni termonucleari su picola scala vengono prodotte mediante l'uso di cavitazione acustica (9). Gli eventi degli esperimenti di Frascati del 1989 erano affidati al caso, e di qui segue la scarsa riproducibilità, mentre per quelli di Taleyarkan c'è un *trigger* ben determinato che li provoca.

Le evidenze di eccesso di calore (1992-96)

Nella Fig. 4 è mostrato lo schema dell'esperimento effettuato nel 1992 dal Gruppo ottenuto dalla fusione dei due Gruppi operanti all'ENEA di Frascati: i risultati furono presentati alla *3rd International Conference on Cold Fusion* (ICCF3), che si tenne a Nagoya, Giappone, nell'ottobre di quell'anno (10). Il lavoro fu poi pubblicato su "Il Nuovo Cimento" (11). La particolare geometria adottata mirava a mettere in evidenza la permeazione di deuterio attraverso il catodo, e dette risultati interessanti, per i quali rimandiamo il lettore agli articoli citati.

Si noti che si utilizzava un calorimetro a flusso con una sensibilità di circa 50 mW. Si usò una tecnica suggerita dal Gruppo giapponese di Takahashi, consistente nell'alternare correnti elettrolitiche alte e basse: lo scopo era evidentemente ancora una volta quello di creare situazioni non stazionarie nel sistema.

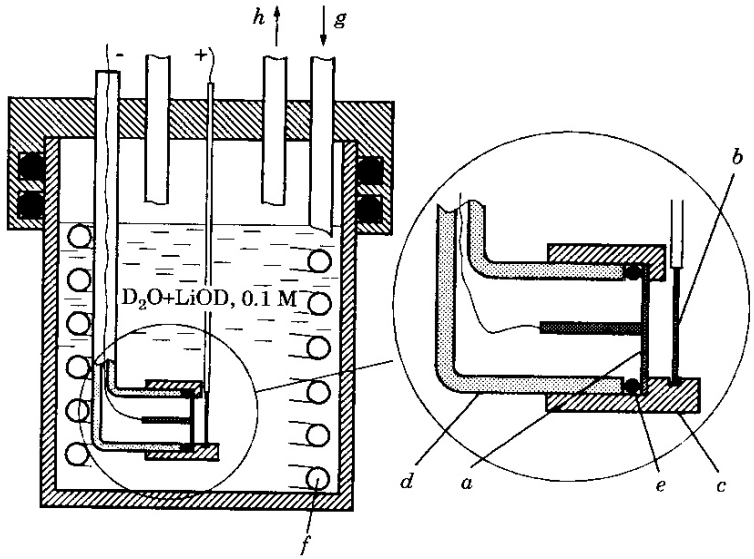

Fig. 4 - Schema della cella e del calorimetro usato negli esperimenti del 1992

Quello che si vuole mettere in evidenza qui è la misura di eccessi di calore, che si ebbe in tutte e tre le prove che furono effettuate. Nella Fig. 5 è riportato il diagramma temporale della produzione di calore in eccesso per il secondo esperimento, con una punta di circa 3 W al termine dell'esperimento.

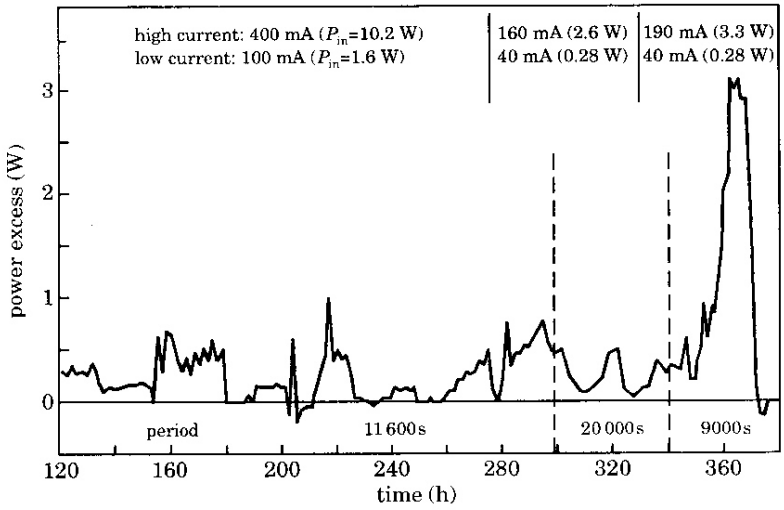

Fig. 5 - Un grafico della potenza in eccesso in funzione del tempo, ottenuto nel secondo dei tre esperimenti realizzati nel 1992

L'attività del Gruppo ENEA, dopo il successo del 1992, si sviluppò in varie direzioni, tra l'altro cercando di mettere a punto una tecnica per la misura del caricamento ed affrontando i problemi di "scienza dei materiali" che permettessero di superare le difficoltà che si incontravano per ottenere alti caricamenti.

Tra i vari tentativi compiuti, merita di essere ricordato un esperimento effettuato nel 1994, nel quale si voleva studiare l'influenza dei vari parametri caratteristici dell'elettrolisi, in particolare la corrente elettrolitica, la molarità della soluzione, la tensione applicata agli elettrodi, e così via. In questo esperimento si era deciso di usare un anodo anch'esso di palladio: l'idea era che in tal modo il palladio disciolto dall'anodo si sarebbe depositato sul catodo, rigenerandolo con continuità, ed evitando così il rapido deterioramento della cella elettrolitica che si riscontrava abitualmente.

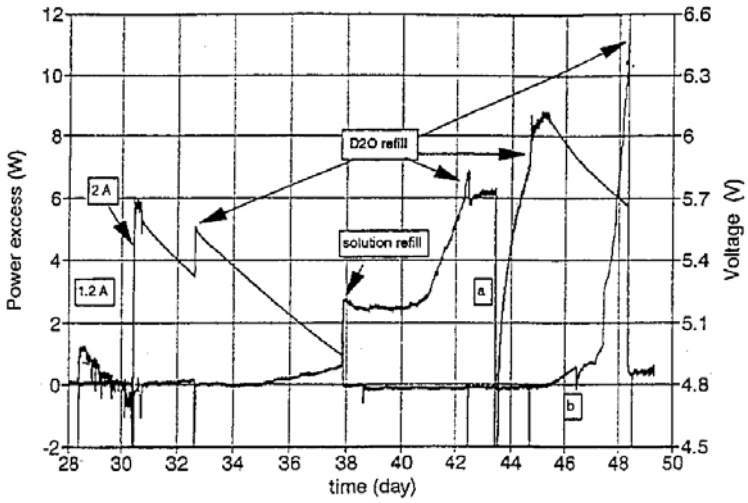

Fig. 6 - Il grafico della potenza in eccesso e della tensione applicata agli elettrodi, in funzione del tempo, nell'esperimento del 1994, negli ultimi 22 giorni: si notino le due produzioni di calore, al 35° e al 45° giorno

Ed in effetti l'esperimento durò quasi 50 giorni. Ad esperimento avanzato, si verificarono due eventi di produzione di calore, il primo al 35° giorno e il secondo al 45° (Fig. 6). Quest'ultimo fu davvero molto vistoso: la produzione di calore andò crescendo per più di tre giorni, raggiungendo il valore massimo di 11 W. Si noti che la potenza immessa nella cella elettrolitica durante questo episodio era di circa 8 W: quindi, nell'ultimo periodo, si è di fatto superato quel limite che in fisica della fusione termonucleare è chiamato *breakeven*.

Mi piace ricordare qui anche un aspetto particolare di questo esperimento. Per l'alimentazione della cella si usava un circuito a corrente costante, e avevamo deciso di monitorare la differenza di potenziale applicata tra i due elettrodi. Questo è uno dei due parametri mostrati in Fig. 6 ed esso segue le varie vicissitudini dell'esperimento, in particolare i rimbocchi di acqua per compensare quella elettrolizzata, e le variazioni di molarità della soluzione. Ma l'aspetto più interessante è la comparsa, in entrambi gli episodi di produzione di calore, ed esattamente al comparire dell'eccesso di calore, di un comportamento molto specifico della tensione applicata.

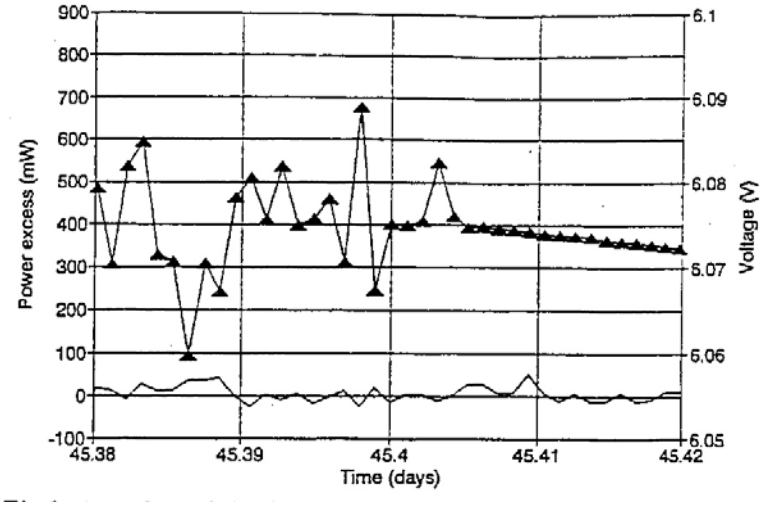

Fig. 7 - L'andamento della tensione applicata agli elettrodi in funzione del tempo, in occasione dell'inizio del secondo episodio di produzione di calore in eccesso (t ≈ 45.4 giorni)

Questo è mostrato, per il secondo episodio, nella Fig. 7: prima che inizi la produzione di calore il valore della tensione è alquanto oscillante nel tempo; una volta iniziata la produzione di calore, questa oscillazione scompare ed il valore della tensione diventa stabile con il suo andamento discendente, che rende conto della perdita di acqua dal sistema. Una ipotesi che fu fatta attribuiva le normali oscillazioni alla crescita di bollicine di D_2 sulla superficie del catodo ed al loro successivo distacco, e quindi la nuova situazione creatasi alterava in qualche modo questo meccanismo. Si aveva la sensazione di trovarsi di fronte ad una vera e propria transizione di fase.

I risultati di questo esperimento furono presentati alla Conferenza ICCF5, a Monaco (Montecarlo) nell'aprile 1995 (12).

Gli studi di "scienza dei materiali"

Una notevole attività fu svolta da una parte del Gruppo ENEA di Frascati per approfondire gli aspetti specifici del caricamento di deuterio in palladio. Mi limiterò qui a citare brevemente i tre filoni più significativi, rimandando il lettore agli articoli originali per maggiori dettagli.

Un primo filone riguardava un'indagine sulle caratteristiche del materiale e sul suo comportamento in fase di assorbimento di deuterio (13, 14, 15, 16).

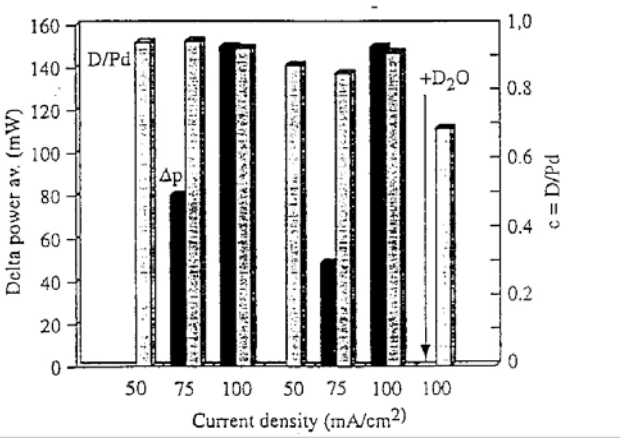

Fig. 8 - Il rapporto D/Pd (barre chiare) e l'eccesso di calore (scure) in sette prove successive: per quattro di esse c'è stato un chiaro eccesso di calore

Si studiarono i meccanismi di trasporto del deuterio nel reticolo del palladio, correlando il caricamento ai parametri metallurgici del metallo. Un risultato pratico di queste indagini fu l'individuazione di una procedura di trattamento dei campioni, unita ad una diversa procedura di caricamento, che mirassero a massimizzare il caricamento con deuterio. Sulla base di questi risultati nel 1995-96 fu condotta una serie di esperimenti mirati alla rivelazione di un eccesso di calore. I risultati furono notevolmente soddisfacenti, come è mostrato nel grafico riportato in Fig. 8, dove viene anche messa in evidenza la correlazione dell'eccesso di calore con il caricamento (17).

Un'altra ricerca che merita di essere ricordata consiste nello studio di un meccanismo elettromagnetico che permetta un maggior avvicinamento dei deutoni in seno al reticolo del palladio (18, 19, 20).

Infine va ricordata la misura dei parametri di cella del palladio in tempo reale durante il caricamento con elettrolisi. Questa ricerca fu effettuata in collaborazione con il Laboratorio di Struttura della Materia del CNR a Frascati, e portò risultati molto promettenti (21, 22, 23).

La misura dello ^{4}He

All'incirca all'inizio del 1996, si iniziò a realizzare un sistema di misura, basato sull'uso di uno spettrometro di massa, mirato a rivelare la produzione di ^{4}He, inteso come cenere nucleare del processo di fusione D + D. Questa misura è complicata da un insieme di fattori concorrenti.

Per primo, la massa della molecola di deuterio differisce da quella dell'atomo di ^{4}He di solo 0.026 amu. Inoltre, la quantità di ^{4}He che si cerca di evidenziare è alquanto piccola, ed è di solito mescolata ad una gran quantità di deuterio. Infine, ^{4}He è contenuto nell'atmosfera (5.4 ppm), e pertanto bisogna guardarsi da eventuali "inquinamenti" atmosferici durante la misura.

Si ideò un metodo originale, che prevedeva l'uso di uno spettrometro di massa a quadrupolo in modo statico, cioè con il quadrupolo immerso staticamente nel gas da analizzare, con l'aggiunta di una pompa *getter*, cioè una pompa che portava via tutti i gas tranne i gas nobili. In tal modo era possibile eliminare tutto il deuterio contenuto nella miscela esaminata, lasciando solo l'^{4}He: questo poteva essere misurato, previa una taratura dello spettrometro. Una relazione su questo metodo e sui primi risultati di laboratorio fu presentata alla Conferenza ICCF8 (24).

Considerazioni conclusive

A me sembra che la storia del Gruppo ENEA di Frascati abbia una sua coerenza interna, e sia un ottimo esempio di evoluzione costruttiva di un'attività di ricerca. Nel 1992, dopo una meditata valutazione del lavoro fatto, è stato effettuato un sostanziale cambiamento di rotta, passando dalla rivelazione dei neutroni alla misura dell'eccesso di calore. I risultati positivi ottenuti hanno dato al Gruppo il convincimento che la FF, almeno nella forma da esso investigata, cioè produzione di calore e di ^{4}He in un sistema palladio-deuterio, sia una realtà scientifica importante. Questo ha giustificato gli sforzi successivi. A mio avviso, non c'è dubbio che, almeno nella fase "in salita", cioè tra il 1992 e il 1996, il Gruppo abbia contribuito significativamente al progresso del settore.

Resta l'amarezza per il mancato proseguimento di un'impresa così significativa. Resta anche il rammarico per il progresso tutto sommato piuttosto lento e poco efficiente dell'intero settore. Penso che entrambi questi rammarichi si possano ascrivere al diffuso scetticismo sulla FF che dall'autunno del 1989 pervade, in modo del tutto ingiustificato, il mondo della scienza ufficiale, e al conseguente crescente disimpegno delle autorità preposte alla ricerca.

Bibliografia

1. M. FLEISCHMANN, S. PONS, *Electrochemically Induced Nuclear Fusion of Deuterium,* J. Electroanalyt. Chem 261, 301 (1989); vedi anche M. Fleischmann, S. Pons, J. Electroanalyt. Chem 263, 197 (1989)

2. S.E. JONES, E.P. PALMER, J.B. CZIRR, D.L. DECKER, G.L.JENSEN, J.M. THORNE, S.F. TAYLOR, J. RAFELSKI, *Observation of Cold Nuclear Fusion in Condensed Matter*, Nature 338, 737 (1989)

3. D. GOODSTEIN, *Whatever Happened to Cold Fusion,* The American Scholar, Volume 63, Number 4, Atumn 1994; ripubblicato su Engineering and Science, Fall 1994

4. A. DE NINNO, A. FRATTOLILLO, G. LOLLOBATTISTA, L. MARTINIS, M. MARTONE, L. MORI, S. PODDA, F. SCARAMUZZI, *Evidence of Emission of Neutrons from a Titanium-Deuterium System*, Europhysics Letters, 9, 221 (1989); A. DE NINNO, A. FRATTOLILLO, G. LOLLOBATTISTA, L. MARTINIS, M. MARTONE, L. MORI, S. PODDA, F. SCARAMUZZI, *Emission of Neutrons as a Consequence of Titanium-Deuterium Interaction*, Il Nuovo Cimento, Note brevi, vol.101 A, 841 (1989).

5. M. FABRIZIO, C. MANDUCHI, G. MENGOLI, E. MILLI, C. ZANNONI, *Emissione di neutroni dall'interazione di deuterio gassoso con titanio e con leghe a base di palladio*, Atti del convegno sullo stato della fusione fredda in Italia, Università di Roma III, 14-\16 febbraio 1993, curati da B. Stella

6. A. DE NINNO, A. FRATTOLILLO, F. LANZA, S. MIGLIORI, C. PONTORIERI, S. SCAGLIONE, F. SCARAMUZZI, P. ZEPPA, *The Production of Neutrons and Tritium in the Deuterium Gas-Titanium Interaction,* da "The Science of Cold Fusion", Proceedings of the II Annual Conference on Cold Fusion, Como, June 29-July 4, 1991, editors T. Bressani, E. Del Giudice, G. Preparata, publicati dalla Società Italiana di Fisica, 129 (1991). Lo stesso come Rapporto Tecnico ENEA, RT/INN/91/47 (1991)

7. S.E. SEGRE, S. ATZENI, S. BRIGUGLIO, F. ROMANELLI, *A Mechanism for Neutron Emission from Deuterium Trapped in Metals*, Europhysics Letters, 11, 201 (1990)

8. E. TABET, A. TENENBAUM, *Displacement Flow and Deuteron Drag in a Metal: a Path towards Cold Fusion,* "Understanding Cold Fusion Phenomena", edited by R.A. Ricci, F. De Marco, E. Sindoni, Conference Proceedings (Varenna, 15-16 September 1989), Volume 24, Italian Physical Society, 175 (1990)

9. R.P. TALEYARKAN ET AL., *Evidence of Nuclear Emission During Acoustic Cavitation,* Science, 295 (2002)

10. L. BERTALOT, F. DE MARCO, A. DE NINNO, A. LA BARBERA, F. SCARAMUZZI, A. VIOLANTE, P. ZEPPA, *Study of Deuterium Charging in Palladium by the Electrolysis of Heavy Water: Search for Heat Excess and Nuclear Ashes***,** da "Frontiers of Cold Fusion", Proceedings of the Third Annual Conference on Cold Fusion (ICCF3), Nagoya, Japan, October 21-25, 1992, edited by H. Ikegami, University Academy Press, Inc., Tokyo, 365 (1993)

11. L. BERTALOT, F. DE MARCO, A. DE NINNO, A. LA BARBERA, F. SCARAMUZZI, A. VIOLANTE, P. ZEPPA, *Study of deuterium charging in palladium by the electrolysis of heavy water: excess heat production*, Il Nuovo Cimento, 15 D, 1435 (1993)

12. L. BERTALOT, A. DE NINNO, F. DE MARCO, A. LA BARBERA, F. SCARAMUZZI, V. VIOLANTE, *Power Excess Production in Electrolysis Experiments at ENEA Frascati,* Proceedings of the "5th International Conference on Cold Fusion" (ICCF5), Monte Carlo, Monaco, April 10-14, 1995, 34 (1995)

13. A. DE NINNO, V. VIOLANTE, **"***Quasi-Plasma" Transport Model in Deuterium Overloaded Palladium Cathodes,* da "Frontiers of Cold Fusion", Proceedings of the Third Annual Conference on Cold Fusion (ICCF3), Nagoya, Japan, October 21-25, 1992, edited by H. Ikegami, University Academy Press, Inc., Tokyo, 107 (1993)

14. A. DE NINNO, V. VIOLANTE, *Study of Deuterium Charging in Palladium by Electrolysis of Heavy Water,* Fusion Technology, 26, 1304 (1994)

15. A. DE NINNO, A. LA BARBERA, V. VIOLANTE, *Deformations Induced by High Loading Ratios in Palladium Deuterium Compounds,* Journal of Alloys and Compounds, 253-254, 181 (1997)

16. A. DE NINNO, A. LA BARBERA, V. VIOLANTE, *Consequences of lattice expansive strain gradients on Hydrogen loading in Palladium*, Phys. Rev. B, 56, 2417 (1997)

17. F. DE MARCO, A. DE NINNO, A. FRATTOLILLO, A. LA BARBERA, F. SCARAMUZZI, V. VIOLANTE, *Progress Report on the Research Activities on Cold Fusion at ENEA Frascati,* "Progress in New Hydrogen Energy", Proceedings of the Sixth International Conference on Cold Fusion, Toya (Hokkaido, Giappone) 13-18 ottobre 1996, Vol.1, 145 (1997)

18. V. VIOLANTE, A. DE NINNO, *Quantum Mechanical Description of a Lattice Ion Trap*, "Progress in New Hydrogen Energy", Proceedings of the Sixth International Conference on Cold Fusion, Toya (Hokkaido, Giappone) 13-18 ottobre 1996, Vol.1, 221 (1997)

19. V. VIOLANTE, A. DE NINNO, *Lattice Ion Trap: a Possible Mechanism Inducing a Strong Approach Between Two Deuterons in Condensed Matter,* Fusion Technology, 31, 219 (1997)

20. V. VIOLANTE, *Extended Analysis of the Lattice Radio-Frequency Trap as Possible Collision Mechanism between Nucleus in Condensed Matter*, Proceedings of the Seventh International Conference on Cold Fusion, Vancouver (Canada) 19-24 aprile 1998, 403 (1998)

21. L. BERTALOT, F. DE MARCO, A. DE NINNO, R. FELICI, A. LA BARBERA, F. SCARAMUZZI, V. VIOLANTE, *Behavior of a Pd membrane during deuterium electrochemical loading: excess heat production,* Proceedings of the 4th International Conference on Cold Fusion (ICCF4), Lahaina, Maui, Hawaii, USA, 6-9 dicembre 1993, pubblicati a cura dello Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, USA, Volume 1: Plenary Session Papers, pag. 4-1 (1994).

22. L. BERTALOT, F. DE MARCO, A. DE NINNO, R. FELICI, A. LA BARBERA, F. SCARAMUZZI, V. VIOLANTE, *Deuterium charging in palladium by the electrolysis of heavy water: measurement of the lattice parameter,* Proceedings of the 4th International Conference on Cold Fusion (ICCF4), Lahaina, Maui, Hawaii, USA, 6-9 dicembre 1993, pubblicati a cura dello Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, USA, Volume 2: Calorimetry and Materials Papers, pag. 29-1 (1994). Pubblicato anche su "Transactions of Fusion Technology, 26, n.4T, 122 (1994)

23. R. FELICI, L. BERTALOT, A. DE NINNO, A. LA BARBERA, V. VIOLANTE, *In situ measurement of the deuterium (hydrogen) charging of a palladium electrode during electrolysis by energy dispersive x-ray radiation,* Rev. Sci. Instrum., 66, 3344 (1995)

24. A. DE NINNO, A. FRATTOLILLO, A. RIZZO, F. SCARAMUZZI, C. ALESSANDRINI, *A new method aimed at detecting small amounts of helium in a gaseous mixture*, Proceedings of the Eighth International Conference on Cold Fusion, Lerici (SP), 21-26 May 2000, pubblicato dalla SIF, *Conference Proceedings*, volume 70, 29 (2001)

2.3. Attività sulla Fusione Fredda svolte a Frascati ed alla "Texas A&M University" per la misura di calore, in una attività di collaborazione

AURELIO LA BARBERA
ENEA - Casaccia

La fase pionieristica

L'attività nacque subito dopo l'annuncio di M. Fleischmann e S. Pons quando l'ENEA decise di verificare sperimentalmente le loro sconvolgenti affermazioni. Fu ufficialmente costituito un gruppo di ricercatori composto di alcuni chimici della sede Casaccia e fisici della sede di Frascati. Per la realizzazione degli esperimenti fu scelta la sede di Frascati, ritenendola la più idonea per il fatto che lì vi erano le maggiori competenze nel campo nucleare, le strutture architettoniche adatte e la presenza di strumenti per il monitoraggio di neutroni e trizio eventualmente generati durante l'elettrolisi di acqua pesante.

Furono realizzate alcune celle elettrochimiche cilindriche in vetro con un filo di palladio di 1 mm di diametro lungo 20 cm come catodo centrale e un filo di platino di 0.5 mm di diametro di circa 2 m di lunghezza, quale anodo, avvolto a spirale intorno al catodo a circa 1.5 cm di distanza da esso. Il catodo era saldato ad un filo di platino per portare il contatto elettrico fuori della cella. Un tappo in teflon consentiva il passaggio elettrico dei due elettrodi ed aveva un foro per la fuoriuscita dei gas prodotti, per il prelievo di campioni di soluzione ed il rabbocco di D_2O. L'assemblaggio dell'esperimento vedeva la presenza contemporanea di un gruppo di 4-5 celle circondato da tre differenti rivelatori di neutroni più un quarto situato sotto le celle. Periodicamente, era misurata la concentrazione di trizio di un campione di soluzione mediante misura di scintillazione.

L'esperimento fu proseguito ininterrottamente per oltre due mesi senza alcuna rilevazione di neutroni e trizio e fu quindi sospeso.

La seconda fase

Dopo alcuni mesi, all'inizio del 1990, fu costituito un gruppo di ricerca sotto la responsabilità di F. Scaramuzzi composto di L. Bertalot, A. De Ninno, A. Frattolillo (fisici), A. La Barbera (chimico) e V. Violante (ingegnere chimico), oltre i tecnici L. Bettinali, D. Lecci, G. Lollobattista e F. Marini.

Molte notizie erano giunte da gruppi attivi sparsi nel mondo, spesso di risultati maldestramente ottenuti, ma anche di ottimi da ricercatori sulla cui affidabilità non vi era alcun dubbio. Tra le notizie che venivano da questi ultimi, una era stata generalmente accettata: affinché avvenisse un qualche fenomeno rilevabile (calore, neutroni, trizio o trasmutazioni) era necessario un elevato livello di caricamento del reticolo del palladio con atomi di deuterio, con il rapporto atomico D/Pd prossimo al valore unitario. Il mancato raggiungimento od il mantenimento di un elevato livello di caricamento era ritenuto, in quel momento, la causa principale della non riproducibilità dei risultati sperimentali. Fu allora deciso di affrontare lo studio su due diverse direzioni. La prima, volta allo studio della misura ed alle metodiche d'ottenimento e mantenimento d'alti valori di caricamento, e parallelamente la seconda, volta alla determinazione calorimetrica delle celle elettrolitiche. Nella maggior parte dei test le due misure erano effettuate contemporaneamente.

Di queste due linee di attività e dei notevoli risultati conseguiti se ne parla diffusamente in un'altra sezione scritta dal professor Scaramuzzi. Pertanto si rimanda il lettore a quella sezione, mentre io qui descriverò le attività da me svolte presso la "Texas A&M University" (TAMU).

Infatti, all'inizio del 1990 furono presi contatti con il gruppo del professor A. John Appleby direttore del "Center for Electrochemical Systems and Hydrogen Research" presso la TAMU per una collaborazione scientifica che comprendeva l'ospitalità per un nostro ricercatore. Nella stessa università, tra l'altro, operavano anche il gruppo del professor John Bockris e il gruppo del dr. L. Kevin Wolf. Molto apprezzati dalla comunità scientifica, attivi nel campo della fusione fredda con risultati interessanti, il primo per l'eccesso di trizio e il secondo per l'emissione di neutroni. Si aveva, quindi, l'opportunità di collaborare in un ambiente particolarmente stimolante. Pertanto, fui ospitato presso i laboratori del Prof. Appleby per uno stage di tre mesi che trascorsi proficuamente tra metà settembre e metà dicembre di quell'anno.

Esperienza TAMU [1]

Furono da me realizzati tre esperimenti mirati alla misura del calore emesso di una cella elettrochimica nella speranza di provocare e misurarne un eccesso, generato durante elettrolisi di acqua pesante, utilizzando un calorimetro commerciale a quattro celle della Hart Scientific modello 8244.

In questo strumento, che può essere utilizzato continuativamente per lungo tempo, il flusso di calore tra una camera dove viene prodotto calore e una camera gemella inattiva, è misurato sfruttando l'effetto Seebec. In tal modo la lettura di una differenza di potenziale risulta proporzionale al flusso di calore proveniente dalla cella. Ciascuna delle 4 celle può essere calibrata calorimetricamente mediante una resistenza interna, e utilizzata fino ad un massimo di 2 W. Tutto il sistema è montato all'interno di un blocco di alluminio immerso in un bagno termostatato. Le due celle gemelle sono connesse in differenziale cosicché si eliminano gli effetti termici esterni, assicurando stabilità e riproducibilità della linea di base a lungo termine. L'errore massimo nella stima della potenza è di 5 mW, mentre il tempo di rilassamento è di 3 ore.

Le celle utilizzate erano cilindriche in acciaio inossidabile con, avvitato, un coperchio di teflon con due connettori elettrici ed un foro per l'evoluzione di gas ed il rabbocco di solvente. Il connettore del catodo di palladio (Alpha product 99.997%) era un filo di platino (Alpha product 99.9995%) saldato e isolato dalla soluzione da un nastro di teflon avvolto su esso. Gli anodi erano costituiti dallo stesso filo di platino. I catodi erano degassati in vuoto a 950 °C per 1 ora. Erano poi raffreddati, lavati in etanolo, ripresi in acqua (deionizzata) e quindi in acqua pesante (Aldrich 99.8% atomico in deuterio ed attività di circa 185 dpm/ml), appena prima di essere montati in cella. Le soluzioni erano preparate con litio metallico (Aldrich 99.9%), e deuterossido di sodio (MSI 99.8% atomico in deuterio).

Nella tabella sottostante sono riportate le caratteristiche salienti dei tre esperimenti. Nella seconda colonna sono indicate le soluzioni utilizzate, nella terza le densità di corrente applicate per lunghi periodi, nella quarta le densità massime di corrente applicate come impulsi di durata da qualche minuto fino a 30 minuti e nell'ultima la durata complessiva dell'esperimento.

Celle	Soluzione	Densità di Corrente (mA/cm^2)	Impulsi di Currente (mA/cm^2)	Durata (giorni)
1	LiOD 0.1M	500-950	1400	62
2	LiOH 0.1M	600-800	1400	60
3	NaOD 5M	600	1400	48

La seconda cella era usata come esperimento di controllo perché si riteneva esente da fenomeni di "fusione fredda", mentre la terza era usata per evidenziare gli effetti di un catione differente dal litio. In entrambe le celle nessun eccesso di calore fu misurato per tutta la durata dell'esperimento. Al contrario la cella 1 produsse un marcato eccesso di calore.

Tale cella fu esercita per 23 giorni durante i quali furono applicate differenti densità di corrente e impulsi fino a 1400 mA/cm^2 per un massimo di 30 minuti, quindi lasciata per 5 giorni a 600 mA/cm^2. In figura 1 è riportato l'andamento della corrente e dell'eccesso di calore misurati nei due giorni successivi. Si vede come la densità di corrente fu elevata a 950 mA/cm^2 per tre ore e quindi abbassata a 825 mA/cm^2. Trascorso il periodo di rilassamento del calorimetro fu registrato un eccesso di circa 50 mW. Per verificare il corretto funzionamento del calorimetro fu applicata in aggiunta una potenza di 111 mW mediante la resistenza di calibrazione. Dopo le tre ore di rilassamento fu registrato un aumento di eccesso proprio pari a 111 mW, mentre dopo tre ore dallo spegnimento della resistenza si misurò nuovamente un eccesso di circa 50 mW (Fig. 1).

Le condizioni sperimentali furono mantenute per dieci giorni durante i quali fu registrato un eccesso variabile tra i 50 e gli 80 mW, ossia il 12-19% della potenza immessa nella cella.

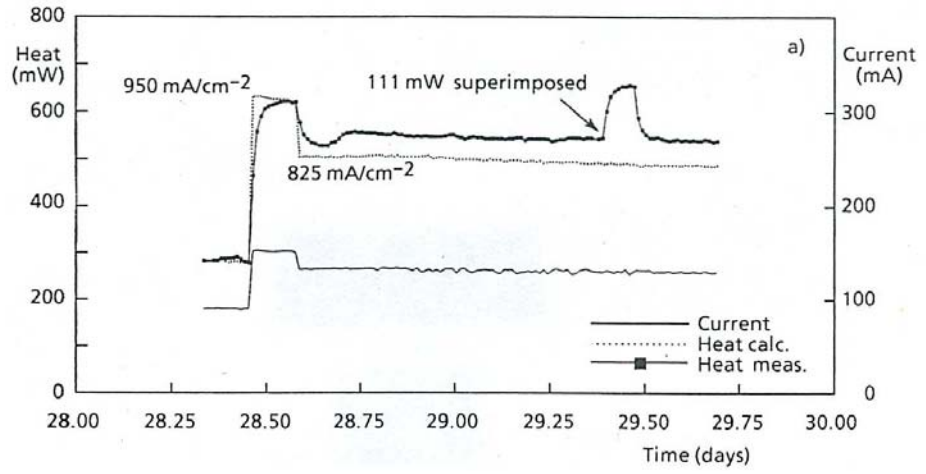

Fig. 1

Dopo di ché, la densità di corrente fu elevata a 950 mA/cm^2 per tre ore e abbassata a 750 mA/cm^2 provocando lo spegnimento dell'eccesso di calore, come si vede nella Fig. 2. Nella stessa si vede anche che un tentativo di riattivazione dell'eccesso fu infruttuoso. Molti altri tentativi furono effettuati nei 23 giorni successivi ma inutilmente ed infine la cella, dopo 62 giorni continui di funzionamento, fu spenta.

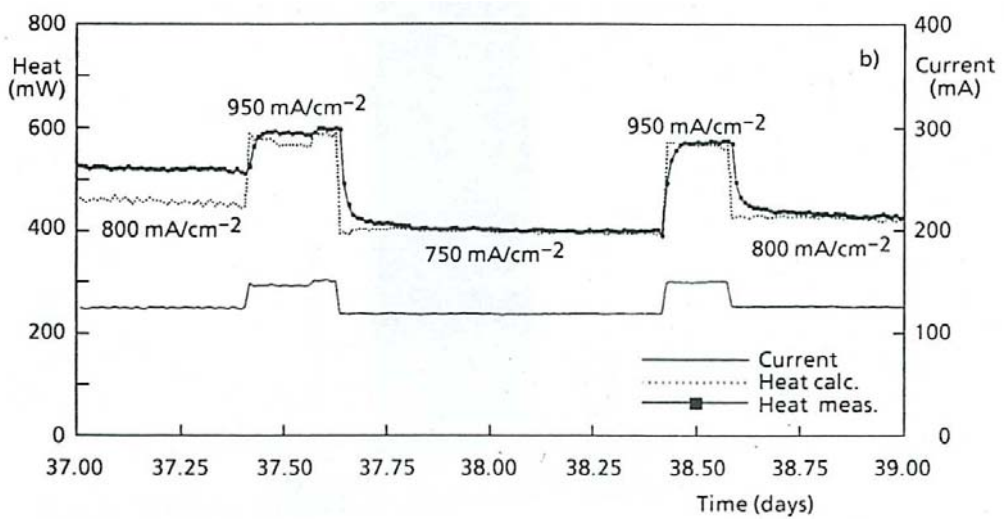

Fig. 2

Nella tabella sottostante sono, infine, riassunti alcuni dati significativi dell'esperimento descritto, in particolare la densità di potenza in watt per volume di palladio e l'energia totale prodotta in eccesso. Tali valori risultavano in linea con quanto veniva allora pubblicato da altri gruppi di lavoro.

Volume del catodo (cm^3)	Densità di Corrente (mA/cm^2)	Eccesso di potenza (mW) (%)		Densità di potenza (W/cm^3)	Energia Generata (kJ)
0.002	600-950	50-80	12-19	25-40	57

Bibliografia

1) L. BERTALOT, L. BETTINALI, F. DE MARCO, V. VIOLANTE, P. DE LOGU, T. DIKONIMOS MAKRIS E A. LA BARBERA (1991)- *Analysis of tritium and heat excess in electrochemical cells with Pd cathodes*. (ICCF2) PROCEEDINGS pp. 3-8 Proc. ICCF2 (1991): The Science of Cold Fusion, Proc. of the Second Annual Conference on Cold Fusion, Como, Italy, June 29-July 4, 1991, edited by T. BRESSANI, E. DEL GIUDICE AND G. PREPARATA, Published by Società Italiana di Fisica,

2.4. Ricostruzione storica delle attività sulla Fusione Fredda in ENEA

ANTONELLA DE NINNO
ANTONIO FRATTOLILLO

ENEA - Frascati

La fusione fredda è nota in Italia sin dal 1989, quando anche nei nostri telegiornali e quotidiani rimbalzarono le notizie provenienti dallo Utah sugli esperimenti elettrolitici di Fleischmann e Pons. L'attenzione dell'opinione pubblica fu inoltre attirata dalla circostanza che un gruppo di ricercatori italiani, guidati dal Prof. Scaramuzzi dell'ENEA, era riuscito a trovare una scorciatoia per riprodurre lo strano fenomeno con un metodo apparentemente più semplice basato sull'utilizzo di "spugne" di Titanio. Si scatenò allora un putiferio mediatico fatto di interviste a radio, televisioni e giornali in cui chiunque pensasse di avere qualche titolo a parlare del fatto si affrettò a farlo. Il Presidente dell'ENEA del tempo, Prof. Umberto Colombo, convocò una conferenza stampa per annunciare la scoperta ed il Prof. Scaramuzzi fu addirittura ricevuto al Parlamento per una audizione.

Il seguito della vicenda italiana ricalca fedelmente quello che successe negli Stati Uniti: dopo alcuni mesi di ispezioni al laboratorio dell'ENEA da parte di organismi scientifici internazionali e di società private come la British Petroleum, venne decretato che si era in realtà trattato di una "bufala" e che era meglio non parlarne più. Anche l'ENEA fece marcia indietro, al Prof. Scaramuzzi venne sì concessa la dirigenza ma al suo gruppo non vennero assegnati che pochi fondi per l'anno in corso e più nulla nei successivi. Molti ricercatori che avevano tentato di salire sul carro dei trionfatori, si affrettarono a scenderne vista la "mala parata" e ritrattarono i loro risultati, unendosi immediatamente dopo al coro dei detrattori.

Questo rapido cambiamento di fronte si realizzò in solo 6 mesi. Già nell'autunno del 1989 era fortemente sconsigliato in ENEA e nel resto della comunità scientifica dire di avere qualcosa a che fare con la fusione fredda.

Da questo momento in poi le notizie che sono filtrate sulla fusione fredda sono state molto scarse e questo ha contribuito al nascere di una leggenda: molti si chiedono se si è trattato davvero di una bufala o se è all'opera una congiura per tenere nascosta una ricerca scomoda.

La gente, si sa, ama le leggende e la scarsità di informazioni ha paradossalmente aiutato la fusione fredda a rimanere viva nell'immaginario collettivo.

Pochi sanno, ad esempio, che già nella primavera del 1989, tre fisici italiani: Giuliano Preparata, Emilio Del Giudice e Tullio Bressani, pubblicarono un articolo sulla rivista *Il Nuovo Cimento* in cui venivano gettate le basi per una teoria predittiva della fusione fredda.

Una teoria non predittiva (ad esempio la teoria tolemaica) è una teoria che non fornisce la legge di formazione del fenomeno e non è in grado di fare previsioni che possono poi essere verificate sperimentalmente; per contro una teoria predittiva è una teoria che anticipa un fenomeno e non lo insegue. La loro teoria non soltanto forniva una spiegazione soddisfacente di come la terribile barriera repulsiva esistente tra due nuclei di deuterio potesse essere penetrata fino a distanze tali da rendere possibile la fusione senza richiedere le elevatissime energie cinetiche mobilitate dalla fusione termonucleare (calda), ma evidenzia la peculiarità di questo fenomeno che, a differenza di tutte le altre reazioni nucleari conosciute, avveniva nella materia condensata e non nel vuoto e per il quale andava considerato un altro scenario rispetto a quello trattato abitualmente dalla fisica nucleare in analogia alla nota analisi sull'effetto Mössbauer. La particolarità di questo scenario richiedeva una visione completamente nuova della materia condensata, basata sugli sviluppi concettuali della elettrodinamica quantistica. Dunque non si invocavano stravolgimenti delle conoscenze acquisite, ma soltanto ampliamenti. Per fare un paragone, la rivoluzione della fisica degli inizi del novecento non abiurò la termodinamica ma le affiancò la fisica quantistica necessaria per trattare sistemi con un numero piccolo di componenti.

Dalla analisi teorica di Preparata, Del Giudice e Bressani emergevano due aspetti molto importanti per gli sperimentatori: si evidenziava l'esistenza di una soglia nel rapporto tra il numero di atomi di deuterio assorbiti ed il numero di atomi di palladio, il cosiddetto fattore di caricamento che non doveva essere inferiore ad 1 e lo sbilanciamento del noto schema dei canali di decadimento della reazione di fusione d+d, verso la produzione di ^{4}He.

Queste previsioni erano disponibili per la comunità scientifica già nel maggio del 1989. Tutte le relazioni tecniche che confutavano la realtà dell'effetto Fleischmann e Pons, pubblicate entro l'autunno dello stesso anno, non contengono nessuna indicazione sul caricamento raggiunto ed utilizzano la circostanza della totale mancanza di neutroni e particelle

cariche come prova della fraudolenza delle affermazioni di Fleischmann, Pons e di tutta la banda di coloro che, da allora, vengono chiamati i "believers", cioè "i credenti".

Le previsioni della teoria di Preparata, Del Giudice e Bressani furono confermate in seguito dai laboratori in cui si erano "rintanati" coloro che continuavano a credere più alle loro osservazioni che ai sacri testi del moderno aristotelismo. La prima conferma della teoria fu l'esistenza di una soglia di innesco per il fenomeno legata all'ottenimento di un rapporto di caricamento di atomi di deuterio per atomi di palladio pari ad 1. La conferma arrivò quasi contemporaneamente dagli Stati Uniti e dal Giappone e fu presentata alla III Conferenza Internazionale sulla Fusione Fredda. Nel 1992 arrivò dal Giappone anche la prima misura di ^{4}He ma si trattava di misure fatte "off-line", cioè ad esperimento concluso venivano analizzati i campioni dei gas prodotti durante l'esperimento.

La comunità scientifica internazionale, che dalla bocciatura del 1989 si rifiuta di prendere in considerazione qualunque cosa riguardi la fusione fredda, ovviamente, non se ne accorse, o finse di non accorgersene.

Tra la fine del 1989 ed il 1991 in ENEA il gruppo del Prof. Scaramuzzi a cui collaboravano Antonella De Ninno, Antonio Frattolillo e Paolo Zeppa continuò ancora sulla strada del caricamento gassoso e sulla ricerca di ceneri nucleari "dure" come neutroni, protoni e trizio derivanti dai processi d+d->3he e d+d->t+p.

In seguito, ci si rese conto che le misure di neutroni erano estremamente erratiche e che la riproducibilità era notevolmente scarsa. La mancanza di "feedback" era tale da impedire un reale affinamento delle misure ed un effettivo approfondimento degli aspetti fisici del problema. Si decise dunque nel 1992 di abbandonare le misure nucleari e di cercare conferme del fenomeno della fusione fredda attraverso misure di eccesso di calore da celle elettrolitiche usando come materiale il palladio invece del titanio. Il gruppo perse l'apporto continuativo di due dei suoi membri (PZ ed AF) e si fuse con l'altro gruppo che in ENEA si era occupato degli aspetti elettrochimici e composto da Vittorio Violante, Aurelio La Barbera, Luciano Bertalot e Francesco De Marco.

La nuova linea sperimentale intrapresa consentì di fare grandi progressi verso la riproducibilità del fenomeno di produzione di calore consentendo di stabilire alcuni punti fermi in questa ricerca:

- la produzione di calore in eccesso è un fenomeno "a soglia", si ottiene cioè, in maniera riproducibile, solo se viene superato un certo valore critico di caricamento di deuterio in palladio;
- tale soglia è di fatto il parametro di difficile controllo che spiega l'erraticità e la presunta irriproducibilità di questi esperimenti;
- il controllo delle caratteristiche metallurgiche del materiale e l'opportuna selezione delle stesse consente di ottenere campioni di palladio in grado di assorbire grandi quantità di deuterio in modo riproducibile;

In particolare questo ultimo punto è stato dimostrato in una serie di misure che sono state presentate in Convegni, dedicati non soltanto alla fusione fredda, e sono state pubblicate su riviste scientifiche qualificate.

Nel corso degli anni le attività si indirizzarono verso la riproduzione degli esperimenti elettrolitici "a la Fleischmann" e sullo studio dei materiali finalizzato all'ottenimento di elevati rapporti D/Pd.

Dopo anni di lavoro "sotterraneo", improvvisamente nel 1999, sembrò realizzarsi una circostanza estremamente favorevole per la ricerca sulla fusione fredda in Italia.

Nei primi mesi del 1999, il Prof. Carlo Rubbia, premio Nobel per la fisica nel 1982, venne nominato Presidente dell'ENEA. La sua grande curiosità scientifica lo portò ad invitare Giuliano Preparata, che conosceva bene per la comune attività nel campo della fisica delle alte energie presso il CERN di Ginevra, ad un incontro presso la Sede dell'ENEA per parlare di fusione fredda[1]. Da quell'incontro e dall'interessamento dell'allora Direttore Generale dell'Ente, Renato Strada, nacque un progetto di ricerca al quale avrebbero dovuto partecipare, oltre a Giuliano Preparata ed Emilio Del Giudice, anche quei ricercatori dell'ENEA e dell'INFN che da anni si occupavano di quell'argomento. Il Progetto fu varato alla fine del 1999, senza la partecipazione dell'INFN.

---

[1] Scrive F. SCARAMUZZI nel Cap. 3.1. di questo volume: "*Un rilancio fu tentato quell'anno (1998), in virtù di una proposta di Giuliano Preparata, il quale, oltre agli importanti contributi in campo teorico, aveva realizzato un esperimento significativo in un laboratorio finanziato da imprenditori privati a Milano (LEDA), e propose all'ENEA un programma congiunto tra LEDA e ENEA. C'era stato anche un interessamento in ambienti politici e sembrava di poter fare affidamento su un sostanzioso finanziamento. L'iniziativa andò avanti faticosamente: comunque, nel luglio del 1998 il Consiglio di Amministrazione dell'ENEA (Presidente Nicola Cabibbo, Direttore Generale Renato Strada) approvò il lancio del programma, ...*"

Gli obiettivi del progetto erano sostanzialmente di verificare la teoria che negli anni era andata affinandosi: verificare l'esistenza della soglia di innesco, sperimentare un nuovo metodo per l'ottenimento della soglia basato sulle proprietà di coerenza del sistema Pd-D e, soprattutto, misurare la contemporaneità tra la produzione di ^{4}He ed eccesso di calore durante l'esperimento. La misura si presentava molto delicata e fino a quel momento mai tentata da nessuno. Al nuovo Progetto parteciparono, per conto dell'ENEA, soltanto Antonella De Ninno e Antonio Frattolillo, oltre ad una giovane ricercatrice assunta "ad hoc" di nome Antonella Rizzo, poiché gli altri ricercatori già impegnati su queste attività in passato avevano nel frattempo accettato altri incarichi. Purtroppo il 24 aprile del 2000 Giuliano Preparata venne a mancare, ma le attività continuarono ancora nei due anni successivi fino all'ottenimento pieno degli obiettivi.

Nel lavoro svolto venne dimostrata la simultanea produzione di eccesso di entalpia e di ^{4}He durante l'elettrolisi di acqua pesante su catodo di palladio (Pd); quando il rapporto stechiometrico x = [D]/[Pd] eccede la soglia critica x =1 (vedi Fig. 1).

Questo effetto è stato ottenuto su catodi resistivi quasi unidimensionali in forma di serpentina, ricavata da un film sottile di spessore tra 1 e 2 micron.

È stata dimostrata l'influenza di un potenziale elettrico longitudinale applicato al catodo, sul raggiungimento di elevati caricamenti. Questa circostanza costituisce una prova diretta della presenza di uno stato del sistema Pd-D contraddistinto da un'unica funzione d'onda ed un'unica fase in analogia con quanto avviene nei sistemi quantistici macroscopici noti alle basse temperature (He superfluido). L'eccesso di calore è stato misurato da un aumento di temperatura mediante un elemento Peltier di tipo commerciale tenuto in buon contatto termico con il substrato del catodo in film sottile.

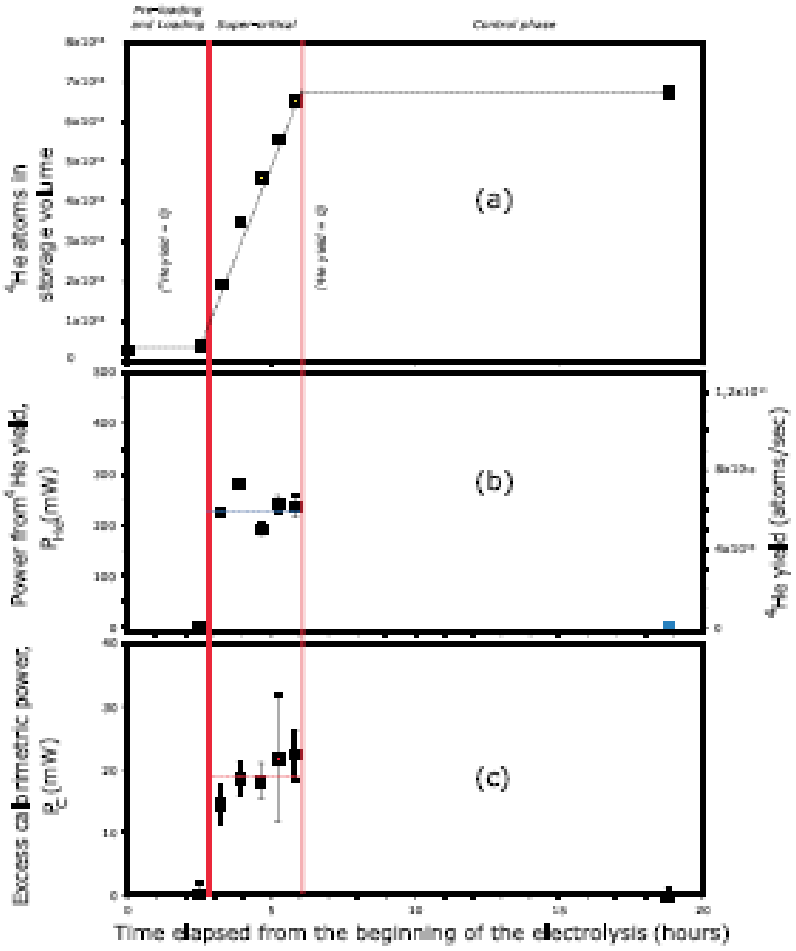

Fig. 1 - (a) Contenuto di ^{4}He nella miscela di gas provenienti dalla cella elettrolitica
(b) eccesso di potenza calcolato sulla base del numero di atomi di ^{4}He misurati (1 atomo di ^{4}He = 24 MeV)
(c) Eccesso di potenza medio misurato con il calorimetro. I dati sono mostrati in funzione del tempo per evidenziare le coincidenze

La cella elettrochimica, interamente realizzata in acciaio inox accoppiato con un rivestimento interno di teflon è stata ospitata all'interno di un alloggiamento a tenuta da vuoto per impedire contaminazioni dell'ambiente esterno (Fig. 2).

Fig. 2 - La cella elettrolitica alloggiata all'interno della box termostatata. Manca il contenimento UHV in acciaio per rendere visibili i contatti elettrici e i passanti per i gas evoluti dall'elettrolisi. Sono visibili nella parte alta della cella le elettrovalvole per i prelievi automatici di gas da inviare allo spettrometro per l'analisi dell'^{4}He

Allo scopo di rivelare le piccole quantità di ^{4}He che ci si aspetta siano presenti, simultaneamente alla produzione di entalpia, come evidenza del carattere nucleare del processo, è stato messo a punto un metodo di analisi basato sulla totale rimozione di tutti i gas chimicamente attivi presenti nella miscela gassosa prodotta nel corso dell'elettrolisi. L'utilizzo di pompe "Non-Evaporable Getter" (NEG) permette di rimuovere efficacemente dalla miscela tutte le componenti non inerti, ed in special modo gli isotopi dell'idrogeno. I gas nobili che rimangono, soli, in fase gassosa vengono inviati periodicamente allo spettrometro di massa e qui analizzati quantitativamente. Lo schema del lay-out sperimentale è mostrato in Fig. 3.

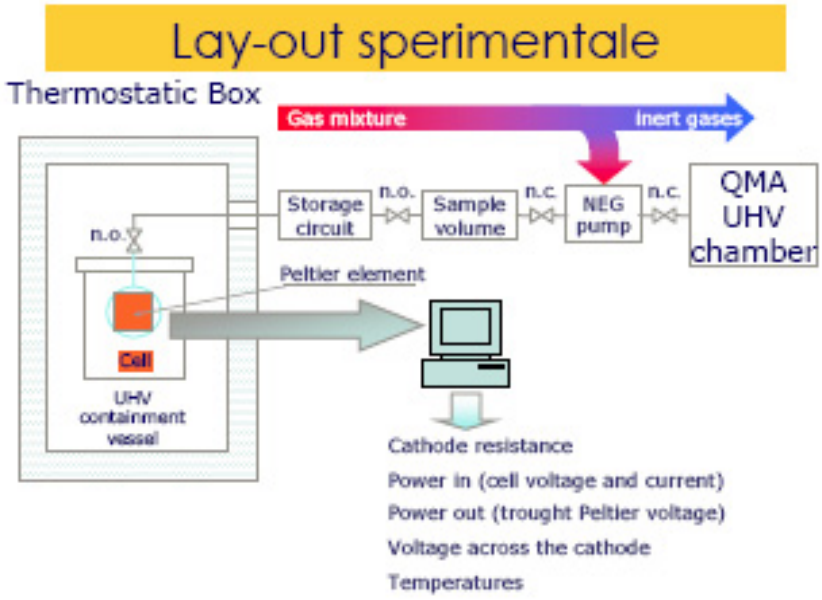

Fig. 3 - Schema a blocchi dell'esperimento. Le frecce in alto indicano il percorso dei gas evoluti dalla cella che si arricchiscono nel contenuto di gas nobili procedendo verso l'analizzatore di massa. La freccia in basso rappresenta il flusso dei parametri elettrici utilizzati per la calorimetria

Le sofisticate apparecchiature utilizzate per questa campagna di misure sono state oggetto, oltre che di pubblicazioni indipendenti, anche di brevetti commerciali ed oggi la tecnica di misura per l'^{4}He proposta dal nostro gruppo, grazie alla grande sensibilità di precisione è in fase di valutazione per un possibile utilizzo come counter delle reazioni di fusione termonucleare prodotte in un reattore come IGNITOR o come leak-test per le camere da vuoto delle grandi macchine Tokamak in realizzazione.

L'osservazione di una quantificabile trasmutazione di deuterio in elio prova univocamente che alla base del fenomeno di cosiddetta "fusione fredda" c'è un processo di natura nucleare.

Il fenomeno descritto è stato riprodotto diverse volte: il livello quantitativo della produzione di elio nei differenti esperimenti, dipende, ovviamente, dal livello di caricamento di deuterio in palladio raggiunto nel corso dell'esperimento.

Alla fine del 2003 una delegazione di scienziati inviata dall'Alto Commissariato del CEA francese ha fatto visita ai laboratori di Frascati a seguito di un seminario tenuto da Antonella De Ninno presso la sede dell'Alto Commissariato a Parigi. A seguito della visita è stato stilato un rapporto ufficiale nel quale si afferma che la misura di ^4He è incontestabile e non apparentemente riconducibile a cause "convenzionali".

Nel marzo del 2004 Antonella De Ninno, è stata premiata dalla Società Internazionale per la Fisica Nucleare nella Materia Condensata (ISCMNS), per le ricerche che hanno portato alla dimostrazione della teoria di Preparata.

Nel corso dello stesso anno il Ministero per le Attività Produttive, MAP, ha mostrato interesse per i risultati ottenuti dal gruppo ed ha manifestato l'interesse a finanziare una nuova fase della ricerca per pervenire alla realizzazione di un dispositivo in grado di produrre con continuità quantità di energia di interesse applicativo. Le attività sperimentali relative alla verifica della teoria del Prof. G. Preparata sono cessate nei primi mesi del 2003[2].

[2] Scrive E. DEL GIUDICE nel Cap. 6.1. di questo volume: *"... la ricerca si concluse con il conseguimento dell'obiettivo proposto, cioè la dimostrazione sperimentale che:*
1. l'applicazione di un potenziale elettrico negativo ad un catodo unidimensionale di palladio determina un incremento del caricamento fino a valori del rapporto stechiometrico maggiori di 1, in accordo con gli esperimenti condotti a LEDA;
2. al superamento del valore critico del rapporto stechiometrico, una quantità di calore eccedente l'energia immessa nella cella elettrolitica è rivelata da un calorimetro fondato sull'effetto Peltier; e,
3. in concomitanza con l'apparizione di questo calore anomalo, la cui entità corrisponde ad una potenza di qualche decina di watt per centimetro cubo, appare nello spettrometro di massa un numero di atomi di elio 4 che eccede di molto il fondo ambientale. Questa quantità anomala di elio 4 è la "cenere" della reazione nucleare. L'entità della "cenere" consente di valutare l'energia totale prodotta, che risultò essere di circa 300 watt per centimetro cubo di palladio, cioè minore dei valori trovati a LEDA."

Bibliografia (1994-2008)

1. L. BERTALOT, F. DE MARCO, A. DE NINNO, R. FELICI, A. LA BARBERA, F. SCARAMUZZI, V. VIOLANTE – *Behavior of a Pd membrane during deuterium electrochemical loading: excess heat production* – Proceedings of the 4th International Conference on Cold Fusion (ICCF4), Lahaina, Maui, Hawaii, USA, 6-9 dicembre 1993, pubblicati a cura dello Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, USA, Vol. I: Plenary Session Papers, p. 4-1 (1994)

2. L. BERTALOT, F. DE MARCO, A. DE NINNO, R. FELICI, A. LA BARBERA, F. SCARAMUZZI, V. VIOLANTE – *Deuterium charging in palladium by the electrolysis of heavy water: measurement of the lattice parameter* – Proceedings of the 4th International Conference on Cold Fusion (ICCF4), Lahaina, Maui, Hawaii, USA, 6-9 dicembre 1993, pubblicati a cura dello Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, USA, Vol. 2: Calorimetry and Materials Papers, p. 29-1 (1994). Pubblicato anche su "Transactions of Fusion Technology, 26, n. 4T, 122 (1994)

3. L. BERTALOT, F. DE MARCO, A. DE NINNO, R. FELICI, A. LA BARBERA, F. SCARAMUZZI, V. VIOLANTE – *Fenomenologia del palladio ad alto caricamento di idrogeno e dei suoi isotopi*. Atti del Convegno Idrogeno e Metalli, a cura dell'Associazione Italiana di Metallurgia – Milano, 109 (1994)

4. F. D'AMATO, A. DE NINNO – *Proposta di esperimento per la rivelazione di tracce di ^4He in esperimenti di interazione tra Deuterio e Palladio* – Rapporto Tecnico ENEA RTI-INN(94)-7 (1994)

5. A. DE NINNO, V. VIOLANTE – *Study of Deuterium Charging in Palladium by Electrolysis in Heavy Water* – Fusion Techn. 26, 1304 (1994)

6. A. DE NINNO, V. VIOLANTE, L. BERTALOT, A. LA BARBERA – *Statistical Approach to H-Pd System: Evaluation of Thermodynamical Function of State from Experimental data* – RT ENEA-INN/94/24/Rev 1 (1994)

7. V. VIOLANTE, A. DE NINNO – *Collision between two deuterons in Condensed Matter : Ion Trap Mechanism* – Proceedings of 5th International Conference on Cold Fusion ICCF5 – Monte Carlo, Monaco, 10-14 aprile 1995, 34 (1995)

8. R. FELICI, L. BERTALOT, A. DE NINNO, A. LA BARBERA, V. VIOLANTE – *In Situ Measurement of the Deuterium (Hydrogen) Charging of a Palladium Electrode Durino Electrolysis by Energy Dispersive x-ray Radiation* – Rev.Sci Inst 66(5), 3344 (1995)

9. V. VIOLANTE, A. DE NINNO – *Fenomeni di equilibrio e di non-equilibrio correlati alla riproducibilità della Fusione Fredda* – RT ENEA_ERG/FUS/95/034 (1995)

10. A. DE NINNO, A. LA BARBERA, V. VIOLANTE, M. VITTORI – *Conseguenze del gradiente di deformazione prodotto dall'assorbimento dell'idrogeno (e dei suoi isotopi) nel Palladio* – Atti del 26° Congresso Nazionale dell'Associazione Italiana di Metallurgia – Milano 6-8 novembre 1996, 78 (1996)

11. A.DE NINNO, A. LA BARBERA, V. VIOLANTE – *Selection of Palladium Metallurgical Parameters to Achieve very high Loading Ratios, "Progress in New Hydrogen Energy"* – Proceedings of 6th International Conference on Cold Fusion ICCF6, Toya (Hokkaido, Jp) 13-18 ottobre 1996, vol. 1, 221 (1997)

12. F. DE MARCO, A. DE NINNO, A. FRATTOLILLO, A. LA BARBERA, F. SCARAMUZZI, V. VIOLANTE – *Progress Report on the Research Activities on Cold Fusion at ENEA Frascati "Progress in New Hydrogen Energy"* – Proceedings of the Sixth International Conference on Cold Fusion – Toya (Hokkaido, Giappone) 13-18 ottobre 1996, vol. 1, 145 (1997)

13. V. VIOLANTE, A. DE NINNO – *Quantum Mechanical Description of a Lattice Ion Trap "Progress in New Hydrogen Energy*" – Proceedings of the 6th International Conference on Cold Fusion ICCF6, Toya (Hokkaido, Giappone) 13-18 ottobre 1996, vol. 1, 221 (1997)

14. A. DE NINNO, A. LA BARBERA, V, VIOLANTE – *Consequences of Lattice Expansive Strain gardiens on Hydrogen Leoading in Palladium* - Phys. Rev. B26, 2417 (1997)

15. A. DE NINNO, A. LA BARBERA, V. VIOLANTE – *Deformations induced by high Loading Ratios in palladium-deuterium Compounds* – Journal of alloys and Compounds, 253-254, 181-184 (1997)

16. V. VIOLANTE, A. DE NINNO – *Lattice Ion Trap: a possible Mechanism Inducing a Strong Approach between two Deuterons in Condensed Matter* – Fus. Tech., vol. 31, 219-227 (1997)

17. A. DE NINNO, M. VITTORI ANTISARI, C. GIANGIORDANO – *Material science studies aimed at improving the reproducibility of the heat excess experiments* – Proceedings of the 7th International Conference on Cold Fusion ICCF7, Vancouver (Canada) 19-24 aprile 1998, 103 (1998)

18. A. DE NINNO, A. FRATTOLILLO, V. VIOLANTE, F. SCARAMUZZI – *Cold Fusion at ENEA Frascati: Progress Report* – Proceedings of the Seventh International Conference on Cold Fusion ICCF7, Vancouver (Canada) 19-24 aprile 1998, 108 (1998)

19. A. DE NINNO, A. FRATTOLILLO, A. RIZZO, F. SCARAMUZZI, C. ALESSANDRINI – *A new method aimed at detecting small amounts o helium in a gaseous mixture* – Proceedings of the 8th International Conference on Cold Fusion ICCF8, Lerici (SP), Italia 200, editor F. Scaramuzzi, published by the Italian Physical Society (SIF), Conference Proceedings n. 70, 29 (2001)

20. M. COLA, E. DEL GIUDICE, A. DE NINNO, G. PREPARATA – *A simple Model of the Cohn-Aharonov Effect in a Peculiar Electrolytic Configuration* - Proceedings of 8th International Conference on Cold Fusion ICCF8, Lerici (SP) 21-24 maggio 2000, vol. 70 – SIF Bologna, 349 (2000)

21. E. DEL GIUDICE, A. DE NINNO, A. FRATTOLILLO, G. PREPARATA, F. SCARAMUZZI, A. BULFONE, M. COLA, C. GIANNETTI – *The Fleischmann-Pons effect in a novel electrolytic configuration* – Proceedings of the 8th International Conference on Cold Fusion ICCF8, Lerici (SP) 21-24 maggio 2000, editor F. Scaramuzzi, published by the Italian Physical Society (SIF), Conference Proceedings n. 70, 47 (2001)

22. E. DEL GIUDICE, A. DE NINNO, A. FRATTOLILLO, G. PREPARATA, F. SCARAMUZZI, A. BULFONE, M. COLA, C. GIANNETTI – *The Fleischmann-Pons effect in a novel electrolytic configuration* - Proceedings of the 8th International Conference on Cold Fusion ICCF8, Lerici (SP) Italy 2000, editor F. Scaramuzzi, published by the Italian Physical Society (SIF), Conference Proceedings n. 70, 47 (2001)

23. E. DEL GIUDICE, A. DE NINNO, A. FRATTOLILLO, G. PREPARATA, F. SCARAMUZZI, P. TRIPODI – *Loading palladium with deuterium gas while lowering temperature* - Proceedings of the 8th International Conference on Cold Fusion ICCF8, Lerici (SP) Italy 2000, editor F. Scaramuzzi, published by the Italian Physical Society (SIF), Conference Proceedings n. 70, 211 (2001)

24. R.G. AGOSTINO, R. FILOSA, V. FORMOSO, G. LIBERTI, A. DE NINNO, F. D'ACAPITO, S. COLONNA – *Electronic Fingerprint of D site occupation in Pd deuteride* - Proceedings of the 8th International Conference on Cold Fusion ICCF8, Lerici (SP) Italy 2000, editor F. Scaramuzzi, published by the Italian Physical Society (SIF), Conference Proceedings n. 70, 177-180 (2001)

25. X.Z. LI, Y.J. YAN, J. TIAN, M. Y. MEI, Y. DENG, W.Z. YU, G.Y. TANG, D.X. CAO, A. DE NINNO – *Nuclear Transmutation in Pd Deuteride* - Proceedings of the 8th International Conference on Cold Fusion ICCF8, Lerici (SP) Italy 2000, editor F. Scaramuzzi, published by the Italian Physical Society (SIF), Conference Proceedings n. 70, 123-128 (2001)

26. E. DEL GIUDICE, A. DE NINNO, A. FRATTOLILLO, A. RIZZO – *Production of excess enthalpy and ^{4}He in Pd cathodes in electrolytic cells* – Proceedings

of the 9th International Conference on Cold Fusion – Tsinghua University, Beijing, China, 19-24 maggio (2002)

27. E. DEL GIUDICE, A. DE NINNO, M. FLEISCHMANN, G. MENGOLI – *Time evolution of the electrolytic H loading in Palladium* – Proceedings of the 9th International Conference on Cold Fusion - Tsinghua University, Beijing, China, 19-24 maggio (2002)
28. A. FRATTOLILLO, A. DE NINNO, A. RIZZO – *Experimental Techniques for Detecting small Quantities of the ^{4}He Gas: Problems and Solutions* - Proceedings of the 9th International Conference on Cold Fusion - Tsinghua University, Beijing, China, 19-24 maggio (2002)
29. A. DE NINNO, A. FRATTOLILLO, A. RIZZO, E. DEL GIUDICE – *Produzione simultanea di eccesso di calore e di ^{4}He durante l'elettrolisi di acqua pesante su catodo di Palladio* – Workshop TESMI (Tecniche ed Esperimenti in Sistemi Metallo-Idrogeno) – Università di Legge, Dip. Scienza dei Materiali – Lecce 6-7 dicembre 2002
30. A. DE NINNO, E. DEL GIUDICE, A. FRATTOLILLO, G. PREPARATA, A. RIZZO – *Experimental Evidence of ^{4}He Production in a Cold Fusion experiment* – ENEA RT/2002/41/FUS. See also http://www.lenr-canr.prg/acrobat/DeNinnoAexperiment.pdf
31. E. DEL GIUDICE, A. DE NINNO, A. FRATTOLILLO – *Are Nuclear Trasmutations observed at Low Energies Consequences of QED Coherence?* – Proceedings of the 1th Conference on Cold Fusion ICCF10, Boston, maggio 2003
32. A. DE NINNO, A. FRATTOLILLO, A. RIZZO, E. DEL GIUDICE – *^{4}He Detection in a Cold Fusion Experiment* - Proceedings of the 1th Conference on Cold Fusion ICCF10, Boston, maggio 2003
33. A. DE NINNO, A. FRATTOLILLO, A. RIZZO – *^{4}He detection in a cold fusion experiment* – Trans. Am. Nucl. Soc., 88, 633-635 (2003)
34. E. DEL GIUDICE, A. DE NINNO, A. FRATTOLILLO, M. FLEISCHMANN – *Coherent Nuclear reactions in Condensed Matter* – Proc. Of the 12 International Conference on Emerging Nuclear Energy System (ICENES 2005), Brussels, 21-26 agosto 2005 – Ed. SCK-CEN, Mol, Belgium (2005)
35. A. FRATTOLILLO *New simple method for fast and accurate measurement of volume*s - – Rev. of Sci. Instr. – 77 045107 (2006)
36. A. FRATTOLILLO – *Simple automatic device for real time sampling of gas production by a reactor* – Rev. of Sci. Instr., 77 065108 (2006), 77 045107 (2006)

37. A. FRATTOLILLO, A. DE NINNO, A. RIZZO – *Quantitative detection of thiny amounts of helium isotopes in a hydrogen isotope atmosphere using a standard-resolution quadrupole mass spectrometer* - J. Vac. Sci Technol., A25(1) gennaio-febbraio 2007, 75

38. A. DE NINNO, E. DEL GIUDICE, A. FRATTOLILLO – *Evidence of Coherent Nuclear Reactions in Condensed Matter* – American Chemical Society Symposium Series, Low Energy Nuclear Reactions Sourcebook – Ed. Jan Marwan and Steven Krivit Oxford University Press, agosto (2008)

Brevetti

A. FRATTOLILLO, A. DE NINNO, F. MARINI – Italian Patent and Trademark Office – Record No. BO2004A000517, 2004 "*Dispositivo per la misurazione di precisione di volumi*"
http://www.uibm-gov.it/uibmdev/Info1.aspx?id=BO2004A000517&param=0

A. FRATTOLILLO, A. DE NINNO - Italian Patent and Trademark Office - No. BO2004A000516, 2004 "*Gruppo per il prelievo periodico di campioni da una fase gassosa*"
http://www.uibm-gov.it/uibmdev/Info1.aspx?id=BO2004A0005167&param=0

2.5. Storia della Fusione Fredda in Italia e collaborazioni internazionali

VITTORIO VIOLANTE
ENEA - Frascati

Dall'inizio del 1996 Vittorio Violante è responsabile della Sezione (Divisione) Tecnologie Speciali per la Fusione Termonucleare del Dipartimento Fusione dell'ENEA di Frascati, tale impegno comporta una riorganizzazione del lavoro scientifico ragion per cui dal 1997 egli lavora autonomamente rispetto al gruppo di ricerca che fu diretto dal Prof. Francesco Scaramuzzi.

Nonostante i nuovi impegni, che dureranno fino al 2001, Vittorio Violante non smette di occuparsi del problema della fusione fredda, problema che aveva seguito fin dall'inizio, nella primavera del 1989.

Il suo contributo sul piano scientifico, come può essere dedotto dai lavori pubblicati in letteratura, si orienta essenzialmente sugli aspetti teorici legati alla scienza dei materiali ed a possibili meccanismi di interazione tra nuclei di deuterio nel reticolo del palladio.

Continua in questo periodo la collaborazione con prestigiosi Istituti statunitensi ed in particolare con SRI International e con l'Università dell'Illinois.

Gli studi nel campo della scienza dei materiali erano già iniziati durante l'ultimo periodo di lavoro svolto con il gruppo coordinato dal Prof. Scaramuzzi. I risultati di questo lavoro furono presentati all'ICCF6 di Toya (J) nell'ottobre del 1996.

Fin dagli inizi degli anni novanta era emerso, grazie agli studi di McKubre e Kunimatzu, che il fenomeno della produzione del calore era un fenomeno a soglia, ossia era necessario raggiungere un certo valore della concentrazione del deuterio nel palladio per avere una certa probabilità di osservare il fenomeno. Questa osservazione sperimentale determinò l'attenzione ai problemi di scienza dei materiali. Il problema da affrontare era: possono determinate caratteristiche del palladio ostacolare la diffusione del deuterio nel reticolo? Inoltre, quali sono queste caratteristiche e come agiscono sul processo diffusivo?

Un accurato studio dei meccanismi di trasporto consentì di spiegare il mancato raggiungimento della soglia di concentrazione del deuterio come effetto del campo di stress sull'aumento del potenziale chimico del deuterio nel palladio.

Questo approccio permise di individuare una specifica struttura metallurgica in grado di minimizzare il campo di stress durante il processo di diffusione del deuterio. Fu messa a punto una tecnologia per produrre palladio con queste caratteristiche, tecnologia che fu poi brevettata dall'ENEA.

Tali studi si tradussero in attività sperimentale solo a partire dal 2001. In quel periodo il Laboratorio di Ricerche della Energetics USA, situato in Israele, che aveva iniziato una attività sperimentale sulla fusione fredda, prese contatti con la Sezione Tecnologie dell'ENEA in quanto interessato ad utilizzare catodi di palladio realizzati con la tecnica messa a punto da Violante.

Quasi contemporaneamente anche SRI si rivolse alla stessa Struttura dell'ENEA, per analoghe attività riguardanti la fusione fredda. Grazie al supporto determinato dai due contratti e con qualche strumento in uso presso la sezione fu messa a punto l'essenziale per riprendere i test sperimentali sui materiali.

Ha inizio un programma di ricerca al quale, nel corso degli anni, collaborano due dottorandi (Luigi Capobianco prima ed Emanuele Castagna poi, quest'ultimo prima in qualità di laureando e poi come dottorando) e diversi laureandi. L'obiettivo è quello di ottenere un materiale in grado di osservare il fenomeno della produzione di eccesso di potenza con un elevato rapporto segnale/rumore.

Anche l'Università di Roma inizia a prendere parte alle attività, in particolare la Prof.ssa Sibilia del Dipartimento di Energetica della Sapienza ed il Prof. Del Prete del Dipartimento di Ingegneria Meccanica.

I primi due anni di lavoro consentono non solo di mettere a punto dei materiali in grado di garantire il raggiungimento della soglia di concentrazione di deuterio con una riproducibilità superiore al 90%, ma consentono anche di osservare il fenomeno nel 20% degli esperimenti e con segnali elevati. Inoltre si incomincia a parlare di riproducibilità trasferita, in quanto anche il Laboratorio della Energetics, utilizzando catodi prodotti in ENEA, ottiene risultati similari.

I risultati ottenuti in ENEA da Violante e quelli della Energetics furono presentati, nell'agosto 2003, alla decima conferenza internazionale sulla fusione fredda a Boston.

Questi ed altri risultati presentati a Boston indussero alcuni studiosi statunitensi a richiedere al DoE una revisione della materia. Per questo motivo, nell'Agosto del 2004, il DoE invitò, ad un Panel con circa venti referee, sei addetti ai lavori: cinque statunitensi ed un italiano (VV).

Nell'autunno del 2005, in seguito al parere del DoE, negli Stati Uniti ha inizio uno studio, condotto con fondi governativi, attraverso il quale SRI è incaricato di riprodurre i risultati che l'Energetics aveva ottenuto utilizzando i catodi di palladio prodotti dall'ENEA.

Nello stesso periodo il Ministero dello Sviluppo Economico (ex MAP) decide di finanziare un progetto di ricerca dal titolo "Generazione di Eccesso di Potenza in Metalli Deuterati". Il progetto è assegnato all'ENEA e l'Ente ne affida il coordinamento a VV. Dal gennaio 2006 il progetto Italiano e quello Statunitense si svolgono in parallelo, con una fortissima interazione. SRI acquista dall'ENEA elettrodi che vengono prodotti e sperimentati presso il Centro Ricerche di Frascati.

Il supporto del Ministero crea le condizioni per effettuare studi a più ampio spettro nel campo della scienza dei materiali, includendo gli aspetti legati alla fisica delle superfici.

Importantissimo è l'arrivo di nuove risorse professionali. Al gruppo, costituito inizialmente solo da VV e dal dottorando Emanuele Castagna, si uniscono la Dott.ssa Francesca Sarto, il Dr. Stefano Lecci ed il Sig. Mirko Sansovini.

In questo periodo ha inizio anche una collaborazione tra il "team" ENEA coordinato da VV ed il Naval Research Laboratory di Washington DC. L'attività in comune tra i due Istituti verte sostanzialmente su aspetti di scienza dei materiali del sistema palladio idrogeno. Con il supporto economico dell'Office of Naval Resesarch di Londra si progetta e si realizza un esperimento da condurre presso il Brookhaven National Laboratory a Long Island, tale esperimento prevede l'uso della *facility* di luce di sincrotrone di questo Laboratorio. Una cella elettrochimica progettata e realizzata in collaborazione con NRL consente di effettuare esperimenti di diffrattometria X sui catodi ENEA per studiare il sistema palladio-idrogeno (deuterio) nella regione inesplorata H(D)/Pd ~ 1. L'esperimento si conclude con successo.

I risultati arrivano anche per quanto concerne lo studio della fusione fredda: durante il 2006 in ENEA si supera il 60% di riproducibilità nella produzione di eccesso di potenza e presso l'Istituto SRI si raggiunge il 75%.

Il programma di revisione statunitense prevedeva due fasi, il passaggio alla seconda fase era condizionato dal superamento della prima.

La commissione di referee governativi aveva fissato come obiettivo valido per il superamento della prima fase il raggiungimento in almeno un esperimento di un eccesso di potenza pari al 100% della potenza in ingresso. In tre esperimenti questo obiettivo è stato ampiamente superato. In ENEA si sono ottenuti eccessi di potenza con potenza in uscita maggiore del 500% di quella in ingresso.

Negli USA nel 2007 è approvato il passaggio alla seconda fase che prevede la partecipazione del Naval Research Laboratory (NRL) di Washington DC. In Italia, a Dicembre 2007, si conclude il Progetto ENEA-Ministero dello Sviluppo Economico, con il raggiungimento degli obiettivi previsti dal programma di ricerca.

In Fig. 1 è mostrato il tipico andamento in un esperimento condotto con acqua leggera: la curva della potenza in uscita si sovrappone a quella della potenza in ingresso non appena il calorimetro supera il transitorio termico e non la supera mai.

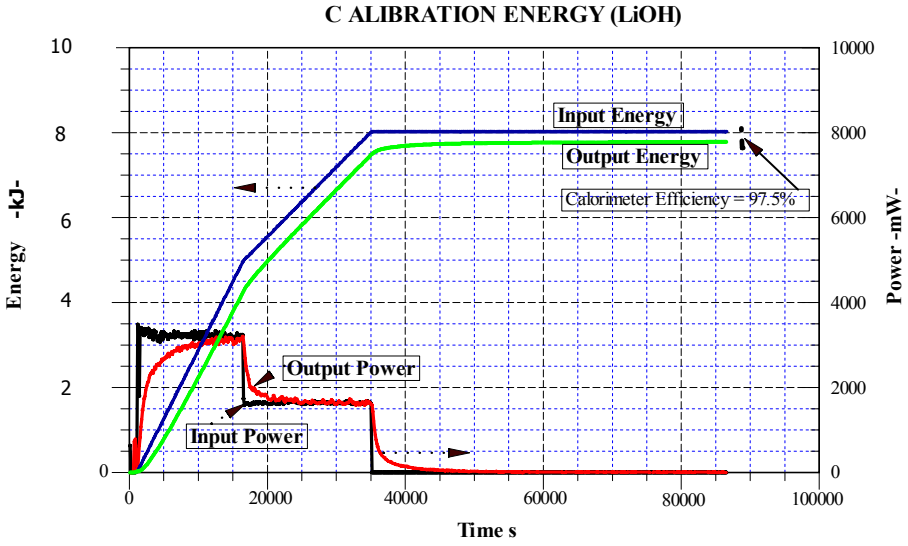

Fig. 1 - Potenza ed energia in ingresso ed in uscita durante un esperimento Con idrogeno. Efficienza = 97.5%.

In Fig. 2 è mostrato un eccesso di potenza del 500%, ottenuto con acqua pesante. Questo risultato appartiene alla serie degli eccessi osservati durante lo svolgimento del progetto supportato dal MSE.

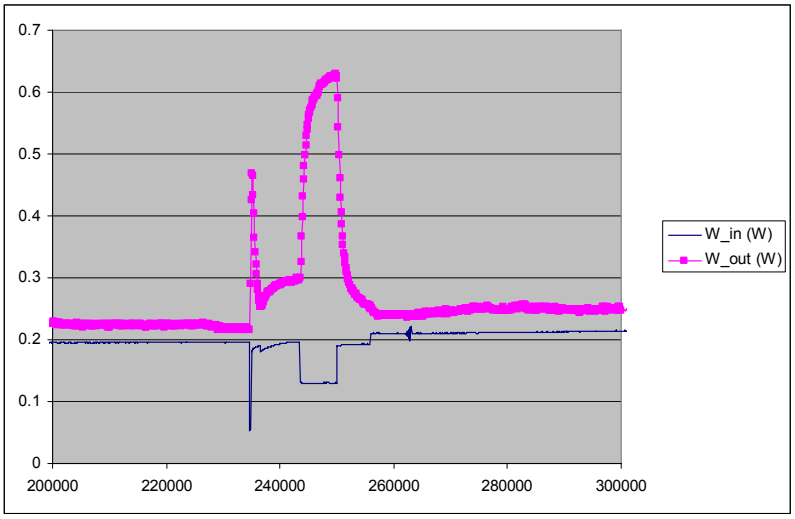

Fig. 2 - Eccesso di potenza nell'esperimento L17, potenza in ingresso e in uscita, rispettivamente curva inferiore e curva superiore. Durante la produzione di potenza in eccesso la potenza in uscita risulta essere circa cinque volte maggiore della potenza in ingresso

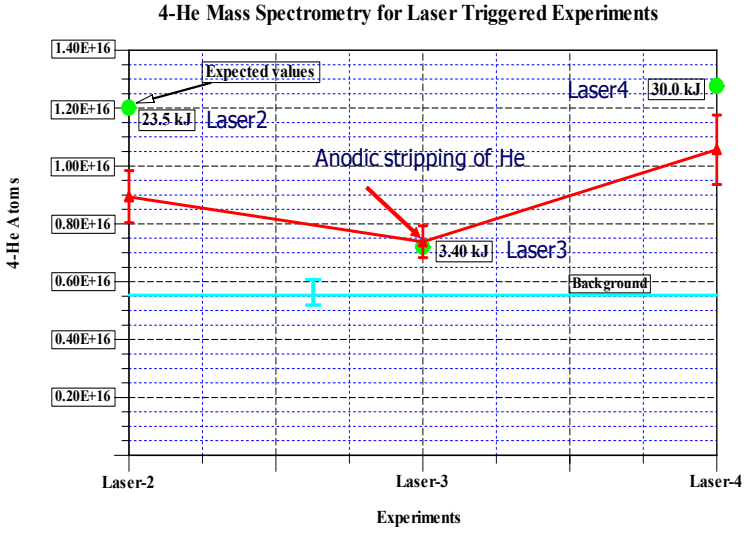

Fig. 3 - Il valore atteso di aumento di ^{4}He è consistente con il guadagno di energia assumendo una reazione: D+D = ^{4}He +24 MeV.

In Fig. 3 sono riportati i risultati di misure preliminari dell'elio-4, cenere nucleare della reazione di fusione (D + D $\rightarrow$ ^{4}He + calore) a cui si ascrive la generazione di eccesso di potenza.

Le misure sono state effettuate con uno spettrometro di massa a magnete JEOL GCMate dotato di risoluzione fino 0.0001 unità di massa atomica.

I cerchi indicano il valore atteso di concentrazione di elio stimato sulla base dei guadagni di energia misurati nei tre esperimenti (Laser2, Laser3, Laser4) a cui fa riferimento la figura.

L'aumento di concentrazione di elio nella cella elettrolitica risulta essere proporzionale al guadagno di energia ottenuto nei tre esperimenti e può essere confrontato con il fondo, identificato dalla linea orizzontale. Il fondo è stato ottenuto attraverso circa settanta misure effettuate su campioni d'aria della stanza, su campioni da gas prelevati da celle elettrochimiche sperimentate con acqua leggera e su campioni di gas prelevati da celle elettrochimiche sperimentate con acqua pesante e che non hanno prodotto eccesso di potenza.

Sono state utilizzate celle chiuse, con ricombinatore catalitico, realizzate con tecnologia da alto vuoto, chiuse in aria, quindi con un contenuto iniziale di elio pari a quello dell'aria (5.2 ppm, linea di fondo). Tutte le misure di elio si riferiscono quindi, in questi esperimenti, ad aumenti della concentrazione di questo gas rispetto al fondo, ragion per cui il problema della possibile contaminazione dall'esterno, a causa della permeazione di elio, non si pone. Semmai il problema è esattamente il contrario: evitare che l'elio prodotto permei verso l'esterno, a causa della pressione parziale in cella più elevata di quella nell'ambiente esterno.

Si può osservare che nei due esperimenti Laser2 e Laser4 anche se il valore misurato si avvicina al valore atteso ed è proporzionale al guadagno di energia, la misura fornisce un ammontare di elio in difetto rispetto al valore atteso, cosa che non si verifica nel caso dell'esperimento Laser3.

Questo comportamento è dovuto al fatto che una parte dell'elio prodotto rimane nell'elettrodo (presumibilmente nei primi micron del materiale). Nell'esperimento Laser3 è stato effettuato uno "stripping" anodico, mediante inversione di polarità, che ha consentito di estrarre all'incirca tutto l'elio presente nel catodo di palladio. Questo comportamento è esattamente identico, anche nei valori percentuali, a quanto osservato presso l'Istituto SRI International della California.

In Fig. 4 è riportato l'andamento dell'eccesso di potenza relativo all'esperimento Laser4.

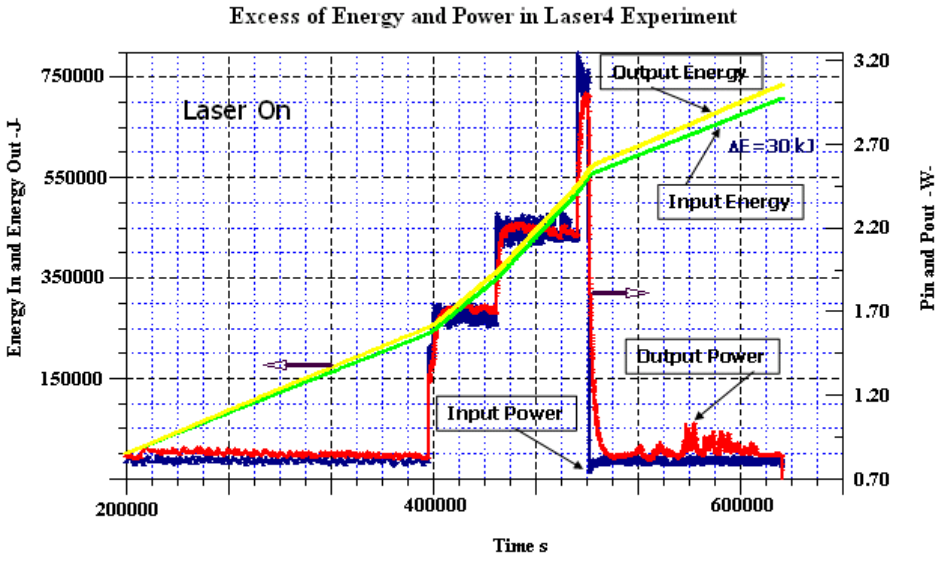

Fig. 4 - Andamento della potenza e dell'energia in ingresso ed in uscita durante l'esperimento Laser4

Bibliografia

1) L. BERTALOT, V. VIOLANTE ET AL., *Analysis of Tritium and Heath Excess in Electrochemical Cells with Pd Cathodes.* Proceedings of the II Annual Conference in Cold Fusion, Como (Italy), 29 giugno - 4 luglio 1991, pp. 3-7.

2) L. BERTALOT, F. SCARAMUZZI, V. VIOLANTE ET AL., *Study Deuterium Charging in Palladium by the Electrolysis of Heavy Water: Search for Heat Excess and Nuclear Ashes*. Proceedings of the Third International Conference on Cold Fusion, Nagoya (Japan) 21-25 ottobre 1992, pp.365-371.

3) L. BERTALOT, V. VIOLANTE ET AL., *Fenomenologia del Palladio ad Alto Caricamento di Idrogeno e dei suoi Isotopi*, Atti del Convegno: "Idrogeno e Metalli", Milano 26-27 Maggio 1994, p 109-117.

4) L. BERTALOT, V. VIOLANTE ET AL., *Deuterium Charging in Palladium by the Electrolysis of Heavy Water: Measurement of the Lattice Parameter.* Transactions of Fusion Technology, 27(1994) 122-125.

5) A. DE NINNO, V. VIOLANTE, *Study of Deuterium Charging in Palladium by Electrolysis of Heavy Water*. Fusion Technology 26(1994) 1304-1310.

6) R. FELICI, V. VIOLANTE ET AL., *In-situ Measurement of the Deuterium (Hydrogen) Charging of a Palladium Electrode During Electrolysis by Energy Dispersive X-Ray Diffraction,* Review of Scientific Instruments, 66(5) (1995) 3344-3348.

7) L. BERTALOT, V. VIOLANTE ET AL. *Power Excess Production in Electrolysis Experiments at ENEA Frascati.* Proc. Fifth International Conference on Cold Fusion 9-13 April 1995 - MonteCarlo Monaco 34-40.

8) V. VIOLANTE, A. DE NINNO, *Collision Between Two Deuterons in Condensed Matter: Ion Trap Mechanism*. Proc. Fifth International Conference on Cold Fusion 9-13 April 1995 - MonteCarlo Monaco 355-359.

9) V. VIOLANTE, A. DE NINNO, *Lattice Ion Trap: A Possible Mechanism Inducing a Strong Approach Between Two Deuterons in Condensed Matter*. Fusion Technology 31 (1997) 219-227.

10) L. BERTALOT, V. VIOLANTE ET AL. *Study of Deuterium Charging in Palladium by the Electrolysis of Heavy Water: Heat Excess Production*. Il Nuovo Cimento, 15, N.11 (1993) 1435-1443.

11) F. DE MARCO, V. VIOLANTE ET AL. *Progress Report on the Research Activities on Cold Fusion at ENEA Frascati.* Proc. VI International Conference on Cold Fusion, Vol. 1, (145-153). Toya (Japan) 13-18 Ottobre 1996.

12) A. DE NINNO, A. LA BARBERA, V. VIOLANTE, *Selection of Palladium Metallurgical Parameters to Achieve Very High Loading Ratios*. Proc. VI International Conference on Cold Fusion, Vol. 1, (192-197). Toya (Japan) 13-18 Ottobre 1996

13) V. VIOLANTE, ET AL. *Quantum Mechanical Description of a Lattice Ion Trap: Deuteron Approaching Mechanism in Condensed Matter*. Proc. VI International Conference on Cold Fusion, Vol. 1, (221-227). Toya (Japan) 13-18 Ottobre 1996.

14) A. DE NINNO, A. LA BARBERA, V. VIOLANTE, *Deformations Induced by High Loading Ratios in Palladium-Deuterium Compounds*, J. Of Alloys and Compounds, 253-254 (1997) 181-184.

15) A. DE NINNO, A. LA BARBERA, V. VIOLANTE, *Consequences of Lattice Expansive Srtain Gradients on Hydrogen Loading in Palladium*. Phys. Rev. B, Vol. 56, N. 5 (1997) 2417-2420.

16) V. VIOLANTE, A. TORRE, G. DATTOLI, *Lattice Ion Trap: Classical and Quantum Description of a Possible Collision Mechanism for Deuterons in Metal Lattices*. Fusion Technology 34(1998) 156.

17) V. VIOLANTE, *Lattice Ion Trap Confinement for Deuterons and Protons: Possible Interactions in Condensed Matter*. Fusion Technology 35 (1999)361-368.

18) M. BERTOLOTTI, G.L. LIAKHOU, R. LI VOTI, S. PAOLONI, C. SIBILIA, V. VIOLANTE., *Non Destructive Evaluation of the Thermal Properties of Palladium-Hydrogen Compounds by Photothermal Technique.* Proceedings International Conference on Cold Fusion. Vancouver (Canada) 19-24 Aprile 1998 pg.22-26.

19) V. VIOLANTE, *Extended Analysis of the Lattice Ion Trap as Possible Collision Mechanism Between Nucleus in Condensed Matter,* Proceedings International Conference on Cold Fusion. Vancouver (Canada) 19-24 Aprile 1998 pg. 403-408.

20) A. DE NINNO, A. FRATTOLILLO, V. VIOLANTE, F. DE MARCO, F. SCARAMUZZI, *Cold Fusion at ENEA Frascati: Progress Report*, Proceedings International Conference on Cold Fusion. Vancouver (Canada) 19-24 Aprile 1998 108-112.

21) V. VIOLANTE, *Lattice Confinement: a Possible Mechanism Producing "collisions" between Particles in Condensed Matter*. Proceedings del III Asti Workshop on Anomalies in Hydrogen/Deuterium Loaded Metals. Rocca d'Arazzo (Italy) 27-30 novembre 1997. Edited by W.J.M.F. Collis pg.89-96.

22) G. SELVAGGI, V. VIOLANTE, G.H. MILEY, *Coherent Lattice Accelerator Inter-ionic Reactions Enhancer*. Proceedings Centennial Meeting of the American Physical Society Atalanta (USA) 20-26 Marzo 1999. Vol. 44 No.1 Part II pg. 1277.

23) V. VIOLANTE, D. DI GIOACCHINO, P. TRIPODI, M. MCKUBRE, F. TANZELLA, *Numerical Calculation of Excess Heat Production in the MATRIX Experiment, 4th* Asti Workshop on Anomalies in Hydrogen/deuterium Loaded Metals. Rocca d'Arazzo (It) 22-24 ottobre 1999.

24) V. VIOLANTE, G.H. MILEY, G. SELVAGGI, *3-D Dynamics of Hydrogen Isotopes within a Metal Lattice.* 4th Asti Workshop on Anomalies in Hydrogen/deuterium Loaded Metals. Rocca d'Arazzo (It) 22-24 ottobre 1999.

25) V. VIOLANTE, C. SIBILIA, D. DI GIOACCHINO, M. MC KUBRE, F. TANZELLA, *Hydrogen Isotopes Interaction Dynamics in Palladium Lattice*. VIII International Conference on Cold Fusion, Lerici May 2000, Ed. Italian Physical Soc. Vol. 70 (2000) 409-417.

26) M. MCKUBRE, V. VIOLANTE ET AL. F*inited Element Modeling of the Transient Calorimetric Behavior of the MATRIX Experimental Apparatus: ^{4}He and Excess of Power Production Correlation through Numerical Results*. VIII International Conference on Cold Fusion, Lerici May 2000, Ed. Italian Physical Soc. Vol. 70 (2000) 23-27.

27) V. VIOLANTE, L. CAPOBIANCO, *Metallurgical effects on the dynamic of Hydrogen loading in Pd*, Proceedings ICCF-9, Pechino Maggio 2002

28) P. TRIPODI, M.C.H. MCKUBRE, F.L. TANZELLA, P.A. HONNOR, D. DI GIOACCHINO, F. CELANI, V. VIOLANTE, *Temperature coefficient of resistivity at composition approaching PdH*. Physics Letter A 276 (2000) 1-5.

29) V. VIOLANTE, G.H. MILEY ET AL., *Recent Results from Collaborative Research at ENEA-Frascati on Reaction Phenomena in Solids, Transac*. American Nuclear Soc., 83, 361(2000)

30) V. VIOLANTE, P. TRIPODI, C. LOMBARDI, *Le Conoscenze Attuali sulla Fusione Fredda,* La Termotecnica, Marzo (2001) 67-72.

31) V. VIOLANTE, A. TORRE, G.H. MILEY, G. SELVAGGI, *Three Dimensional Analysis of the Lattice Confinement Effect on Ions Dynamics in Condensed Matter and Lattice Effect on the D-D Nuclear Reaction Channel.* Fusion Technology 39 (2001) 266-281.

32) M. MCKUBRE, V. VIOLANTE ET AL. *Progress Towards Replication, Proceedings ICCF-9*, Pechino Maggio 2002.

33) V. VIOLANTE, M. MCKUBRE ET AL, *X-Ray Emission During Electrolysis of Light Water on Palladium and Nickel Thin Films*, Proceedings ICCF-9, Pechino Maggio 2002.

34) V. VIOLANTE ET AL. Introduzione ai Processi Nucleari a Bassa Energia nella Materia Condensata, Energia Ambiente Innovazione 2/03, pg 38.

35) V. VIOLANTE ET AL. *Non Equilibrio e Fenomeni di Trasporto che Controllano la Riproducibilità della Generazione di Eccesso di Potenza in Metalli Deuterati*, Energia Ambiente Innovazione 1/04, pg 46.

36) V. VIOLANTE, M. APICELLA,L. CAPOBIANCO, F. SARTO, C. SIBILIA, A. ROSADA, E. SANTORO, M. MCKUBRE, F. TANZELLA, *Search for nuclear ashes in electrochemical experiments, Scientific* Press Proc. ICCF10 August Boston 2003, p 405.

37) V. VIOLANTE, F. SARTO, C. SIBILIA, E. CASTAGNA, S. PAOLONI, *Analysis of Ni Hydride thin film after surface plasmons generation by laser technique.* Scientific Press Proc. ICCF10 Boston August 2003, p 421.

38) V. VIOLANTE, C. SIBILIA ET AL. *Study of lattice potentials on low energy nuclear processes in condensed matter, Scientific Press Proc. ICCF10* Boston August 2003, p 667.

39) M. APICELLA, E. CASTAGNA, G. HUBLER, M. MCKUBRE, F. SARTO, C. SIBILIA, A. ROSADA, E. SANTORO, F. TANZELLA, V. VIOLANTE *Progress on the Study of Isotopic Composition in Metallic Thin Films Undergone to Electrochemical Loading of Hydrogen*, Proc. ICCF12 Yokohama Nov-2005, p 264.

40) M. APICELLA, E. CASTAGNA, L. CAPOBIANCO, L. D'AULERIO, G. MAZZITELLI, M. MCKUBRE, F. SARTO, C. SIBILIA, A. ROSADA, E. SANTORO, F.

TANZELLA, V. VIOLANTE, *Some Recent Results at ENEA*, Proc. ICCF12 Yokohama Nov-2005, p 117.

41) E. CASTAGNA, V. VIOLANTE, C. SIBILIA, S. PAOLONI, F. SARTO *Surface Plasmons and Low Energy Nuclear Reactions Triggering*, Proc. ICCF12 Yokohama Nov-2005, p 156.

42) L. D'AULERIO, V. VIOLANTE, E. CASTAGNA, R. FIORE, R. DEL PRETE, L. CAPOBIANCO, F. TANZELLA, M. MCKUBRE, *Thermal Analysis of Calorimetric Systems*, Proc. ICCF12 Yokohama Nov-2005, p 145.

43) V. VIOLANTE, S. MORETTI, M. BERTOLOTTI, E. CASTAGNA, C. SIBILIA, F. SARTO, M. MCKUBRE, F. TANZELLA, I. DARDIK, S. LESIN, T. ZILOV, *Progress in Excess of Power Experiments with Electrochemical Loading of Deuterium in Palladium*. Proceedings XII, International Conference on Cold Fusion, Yokohama (J), Nov 2005,p. 55.

44) V. VIOLANTE , F. SARTO, E. CASTAGNA, C. SIBILIA, M. BERTOLOTTI, R. LI VOTI, G. LEHU, M. MCKUBRE, F. TANZELLA, G. HUBLER, D. KNIES, T. ZILOV, AND I. DARDIK, *Calorimetric Results of ENEA Cooperative Experiments*, Proc. XIII Internationa Conference on Cold Fusion, Sochi, Giu 2007 .

45) E. CASTAGNA, V. VIOLANTE , C. SIBILIA, F. SARTO, S*urface Plasmons Excitation on Metal and on Metal Hydride Surfaces*, Proc. XIII Internationa Conference on Cold Fusion Sochi, Giu 2007.

46) M.C.H. MCKUBRE, V. VIOLANTE ET AL. R*eplication of Condensed Matter Heat Production,* accettato per la pubblicazione da: American Chemical Society.

Patent

V. VIOLANTE ET AL. *Procedimento metallurgico per aumentare la capacità di assorbimento dell'idrogeno da parte di alcuni metalli come palladio, nichel e loro leghe.* RM2004-000473

2.6. Caricamento gassoso a basse temperature

FRANCESCO. SCARAMUZZI
INFN - Laboratori Nazionali Frascati

Già negli anni '70 era stato studiato l'assorbimento di deuterio in palladio in esperimenti nei quali un campione di palladio era messo in contatto con il deuterio in fase gassosa. In particolare, era stata studiata la dipendenza dell'assorbimento dalla pressione e dalla temperatura. Nel grafico riportato in Fig. 1 è mostrato il risultato ottenuto da un gruppo di ricercatori tedeschi nel 1964 (1): sulle ascisse è riportato l'assorbimento, misurato dal rapporto atomico tra deuterio e palladio, in ordinate è riportata la pressione; sono mostrate diverse curve relative a temperature diverse.

Si può notare che la quantità di deuterio assorbita all'equilibrio cresce al crescere della pressione e al diminuire della temperatura. Poiché è risaputo che per ottenere a temperatura ambiente valori elevati dell'assorbimento (possibilmente vicini a 1) sono necessarie pressioni molto elevate, si è pensato di seguire la strada del Caricamento Gasssoso a Basse Temperature (CGBT).

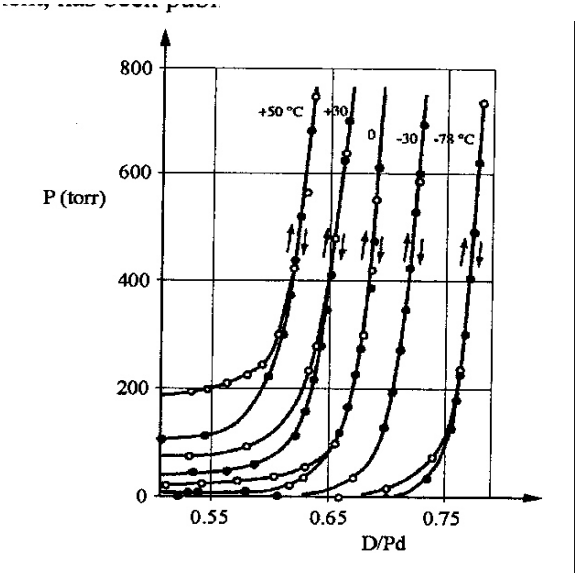

Fig. 1 - L'assorbimento del deuterio in fase gassosa nel palladio, in funzione della pressione e della temperatura (1)

Nell'ambito delle attività promosse con l'iniziativa di Giuliano Preparata all'ENEA di Frascati, alla fine del 1999 iniziò la realizzazione di un esperimento che mirasse a questo obiettivo. Si intendeva misurare il caricamento lungo isoterme, in funzione della pressione. Dal punto di vista criogenico si scelse la soluzione che vedeva il campione raffreddato da un refrigeratore a ciclo chiuso, in grado di assicurare qualsiasi temperatura tra quella dell'ambiente e circa 20 K.

Le prime attività furono dedicate a mettere a punto il dispositivo criogenico. Inoltre si realizzò un calorimetro pratico e sensibile, basato sull'uso di un termoregolatore. Una relazione su questi primi risultati fu presentata alla Conferenza ICCF8 a Lerici, nel 2000, e fu pubblicata sui Proceedings della stessa (2).

In seguito questa ricerca fu portata avanti solo dal sottoscritto, che riuscì a realizzare un primo esperimento "dimostrativo" nella primavera del 2002. I risultati furono alquanto eccitanti: difatti, si ottenne un caricamento di circa 1 alla temperatura di 150 K ed a una pressione di poco inferiore a 1 bar. Nella Fig. 2 sono mostrati i risultati ottenuti in quell'esperimento per 3 valori della pressione.

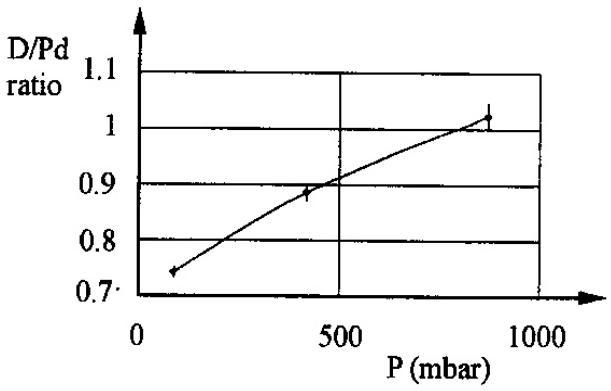

Fig. 2 - L'assorbimento (D/Pd ratio) del deuterio in fase gassosa nel palladio a 150 K, in funzione della pressione, misurato nell'esperimento effettuato all'ENEA di Frascati nel 2002

Questi risultati furono presentati in un *Workshop* organizzato dall'Università di Lecce nel dicembre del 2002. Essi apparvero negli Atti del *Workshop* (3), e furono poi pubblicati sulla rivista *Journal of Alloys and Compounds* (4).

Non essendo possibile portare avanti questa linea di ricerca presso il Centro ENEA di Frascati, il sottoscritto lo propose ai Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN, ed attualmente è in fase di completamento un'apparecchiatura che permetta la ripresa delle misure.

Bibliografia

1. E. WICKE, G.H. NERNST, *Ber. Bunsenges*. Phys. Chem. 68 (1964) 224.
2. E. DEL GIUDICE, A. DE NINNO, A. FRATTOLILLO, G. PREPARATA, F. SCARAMUZZI, P. TRIPODI, *Proceedings of the "8th International Conference on Cold Fusion"*, Lerici (SP) Italy, 21-26 maggio 2000, Editrice Compositori Bologna, Conference Proceedings n. 70 della Società Italiana di Fisica (2001) 211.
3. F. SCARAMUZZI, *Atti del Workshop TESMI (Tecniche ed Esperimenti in Sistemi Metallo-Idrogeno)*, Università di Lecce, Lecce 6-7 Dic. 2002.
4. F. SCARAMUZZI, *Journal of Alloys and Compounds*, 385 (2004) 19.

CAPITOLO 3
RICERCA NEI LABORATORI CNR

(A cura di **SERGIO MARTELLUCCI**)

3.1. Introduzione

La ricerca nel settore della Fusione Fredda, sia sperimentale che teorica, iniziata in Italia sin dalla pubblicazione dell'esperimento di Fleischmann e Pons nel marzo del 1989, è stata molto intensa, anzi frenetica, in molti Laboratori e Centri afferenti sia al Comitato delle Scienze Chimiche che in quello delle Scienze Fisiche del CNR.

Attualmente è possibile invece affermare che la maggior parte delle attività CNR si è notevolmente ridotta, anche a causa del pensionamento della maggior parte dei ricercatori molto attivi negli anni '90.

È stato estremamente difficile, per il Comitato Editoriale italiano, ottenere contributi da ricercatori o ex ricercatori del CNR, e a titolo di esemplificazione delle attività sia sperimentali che teoriche in questo settore sono riportati in questo Capitolo. a cura di Francesco Scaramuzzi e di me stesso, solo alcuni riassunti di articoli di ricercatori CNR, rinviando il lettore interessato agli atti delle Conferenze specifiche, ampiamente ricordate negli altri Capitoli, primo fra tutti il Vol. 24 SIF, Atti di Conferenze "Comprensione dei fenomeni di Fusione Fredda" a cura di R.A. Ricci, F. De Marco e E. Sindoni, Varenna 15-16 settembre 1989, di cui riproduciamo nel successivo Capitolo 4 l'Introduzione del Presidente della SIF, Renato Angelo Ricci.

3.2. Misura dei parametri reticolari durante il caricamento del palladio

Collaborazione tra l'Istituto di Fisica della Materia del CNR a Frascati e il Gruppo dell'ENEA di Frascati

(a cura di **FRANCESCO SCARAMUZZI**)

Va ricordata la misura dei parametri di cella del palladio in tempo reale durante il caricamento con elettrolisi. Questa ricerca fu effettuata in una collaborazione tra l'Istituto di Struttura della Materia del CNR a Frascati, e il Gruppo dell'ENEA a Frascati, e portò risultati molto promettenti.

I risultati furono presentati alla "4th International Conference on Cold Fusion", che si tenne a Maui, Hawaii (USA) nel dicembre del 1993 e furono pubblicati sui Proceedings di quella Conferenza (1). In seguito, un articolo fu pubblicato sulla "Review of Scientific Instruments" (2). Si riportano qui di seguito gli "abstract" dei due lavori.

Abstract del lavoro 1

DEUTERIUM CHARGING IN PALLADIUM BY THE ELECTROLYSIS OF HEAVY WATER: MEASUREMENT OF THE LATTICE PARAMETER

LUCIANO BERTALOT, FRANCESCO DE MARCO, VITTORIO VIOLANTE
Ass. EURATOM-ENEA sulla Fusione, CR Frascati
ANTONELLA DE NINNO, FRANCESCO SCARAMUZZI
ENEA, Dip. INN, Settore Fisica Applicata, CR Frascati
AURELIO LA BARBERA
ENEA – Dip. INN-NUMA, CR Casaccia
ROBERTO FELICI
Istituto Struttura della Materia, CNR Frascati

We report on X-ray diffraction measurements performed during the charging of a palladium cathode with deuterium by the electrolysis of a LiOD-heavy water solution to determine the lattice parameter. In this way we are able to study the dynamics of the process and to determine the D/Pd final ratio of the sample. Up to now we have studied three samples, which have shown very different behaviours. The estimated bulk deuterium concentration was then checked by degassing the cathode in a known volume.

Abstract del lavoro 2

IN SITU MEASUREMENT OF THE DEUTERIUM (HYDROGEN) CHARGING OF A PALLADIUM ELECTRODE DURING ELECTROLYSIS BY ENERGY DISPERSIVE X-RAY DIFFRACTION

ROBERTO FELICI
Istituto Struttura della Materia del CNR, Frascati
LUCIANO BERTALOT, ANTONELLA DE NINNO, AURELIO LA BARBERA E VITTORIO VIOLANTE
ENEA-Frascati

A method to determine the concentration of deuterium inside a palladium cathode during the electrolysis of LiOD-heavy water solution is described. This method is based on the measurement of the host metal lattice parameter which is linearly related to the concentration in a wide range. A hard-x-ray beam which is able to cross two glass walls and few centimetres of water solutions without suffering a strong attenuation has been used. The measurement of the lattice parameter is performed in situ, during the electrolysis, by using energy dispersive x-ray diffraction. The sample volume illuminated by the x-ray beam is limited to a small region close to the surface and depends on the incident photon energy. In principle, this allows one to study the dynamics of the charging process and to determine the concentration profile in the range from few up to tens of micrometers. The deuterium concentration, determined by this method, was then checked by degassing the cathode in a known volume and was always found in a very good agreement, showing that the charging was uniform for the whole sample.

Bibliografia

1. L. BERTALOT, F. DE MARCO, A. DE NINNO, R. FELICI, A. LA BARBERA, F. SCARAMUZZI, V. VIOLANTE, *Deuterium charging in palladium by the electrolysis of heavy water: measurement of the lattice parameter,* Proceedings of the 4th International Conference on Cold Fusion (ICCF4), Lahaina, Maui, Hawaii, USA, 6-9 dicembre 1993, pubblicati a cura dello Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, USA, Volume 2: Calorimetry and Materials Papers, pag. 29-1 (1994). Pubblicato anche su "Transactions of Fusion Technology", 26, n.4T, 122 (1994)
2. R. FELICI, L. BERTALOT, A. DE NINNO, A. LA BARBERA, V. VIOLANTE, *In situ measurement of the deuterium (hydrogen) charging of a palladium electrode during electrolysis by energy dispersive x-ray radiation*, Rev. Sci. Instrum., 66, 3344 (1995)

3.3. Una possibile spiegazione del processo della Fusione Nucleare fredda

(a cura di **S. MARTELLUCCI**)

Anche nei Laboratori di Ricerca del CNR sono state studiate varie teorie nel tentativo di spiegare il fenomeno della Fusione Fredda. Nel capitolo successivo ricorderemo la teoria di Bressani-Del Giudice-Preparata tra quelle più rilevanti elaborate sin dal 1989.
Per quello che riguarda il contributo del CNR ricordiamo a titolo di esempio, il lavoro che segue presentato alla Conferenza di Varenna, organizzata dalla SIF nel settembre 1989, a cura di R.A. Ricci, F. De Marco e E. Sindoni, e pubblicata in una prima forma sul Il Nuovo Cimento, Vol. 11D n. 6, pag. 927, giugno 1989.
Si riporta nel seguito l'abstract del lavoro pubblicato su *Il Nuovo Cimento.*

Abstract

SCREENING EFFECT OF IMPURITIES IN METALS: A POSSIBLE EXPLANATION OF THE PROCESS OF COLD NUCLEAR FUSION

MORENO VASELLI, VINCENZO PALLESCHI, GIUSEPPE SALVETTI E DARM PAL SINGH
Istituto di Fisica Atomica e Molecolare del CNR
MOHAMED ABDEL HARITH
Cairo, University, Faculty of Science, Department of Physics

The screening length of the deuterium ion by surrounding electrons in a palladium metal lattice, as estimated using two approaches - viz. the Thomas-Fermi screening theory and the Debye screening theory for plasmas in metal - is found to be less than the interatomic separation of ordinary hydrogen molecules. This has important implications for the possibility of cold nuclear fusion at room temperature, since slight fluctuations in equilibrium conditions may drive the deuterons to fuse together. The relative magnitudes of screening length for the cold nuclear fusion regime and classical hot nuclear regimes (inertial and magnetic confinement) reveal that in the former a comparatively smaller amount of energy is needed to overcome the repulsive Coulomb barrier between two deuterium ions.

CAPITOLO 4
RICERCA NELL'INFN (Laboratori Nazionali e Sezioni)

(A cura di ***SERGIO MARTELLUCCI****)*

4.1. Introduzione

In questo Capitolo sono riprodotti i contributi inviati da ricercatori operanti sia nei Laboratori Nazionali che nelle Sezioni INFN ospitate presso numerose Università italiane, che sono stati inviati al Comitato Editoriale italiano e che documentano, oltre all'interesse scientifico dimostrato sin dall'inizio dai ricercatori INFN, anche la continuità che da sempre essi hanno mantenuto sino ad oggi con grande successo nel settore della Fusione Fredda.

Nel paragrafo 4.2 "Comprensione dei fenomeni di Fusione Fredda" di Renato Angelo Ricci, viene riprodotta, in lingua inglese, l'Introduzione di R.A. Ricci dei Laboratori Nazionali INFN di Legnaro (PD), che abbiamo già ricordato nell'Introduzione al Capitolo 3. In essa il lettore potrà trovare il riferimento al primo capitolo "Overwiew of Cold Fusion Results" di F. De Marco, che purtroppo ci ha lasciati lo scorso anno, quando stava organizzando un esperimento congiunto ENEA-INFN presso i Laboratori INFN del Gran Sasso, per dimostrare il ruolo svolto nel fenomeno della Fusione Fredda, da una possibile reazione di fusione nucleare con produzione di neutrini.

Nei contributi seguenti si citano in particolare le attività svolte dal Gruppo di Catania, che ha ospitato nell'anno 2007 l'ultima Conferenza Internazionale sulla Fusione Fredda, ed il ruolo di rappresentanza internazionale nell'Executive Committee della Condensed Matter Nuclear Science, attualmente ricoperta da Francesco Celani.

4.2. Comprensione dei fenomeni di Fusione Fredda[1]

RENATO ANGELO RICCI, FRANCESCO DE MARCO E ELIO SINDONI

INFN - Laboratori Nazionali di Legnaro - Padova

Introduction

"Understanding cold fusion phenomena" could appear a quite provocative title for the workshop held at Villa Monastero in Varenna on September 15-16, 1989. In fact the opportunity offered by the Italian Physical Society, the International School of Plasma Physics and the European Physical Society to a large scientific community did concern the presentation and discussion of the most advanced attempts and results, positive and negative, on a variety of phenomena dealing or not with "cold fusion" that are not yet understood at all.

130 scientists, representing a large number of Laboratories and Institutions around the World, had the possibility to meet once more, or for the first time, in a quiet and pleasant corner of the Lake of Como, far away from the heat of the previous debates and from the chaotic noise of the mass-media. Such a noise has in fact increased the obvious difficulties in extracting the real signals arising from scientific reports.

As indicated in the overview of De Marco, one of the major problems in this field has been that "only a part of the information appears in scientific publications or is directly controllable".

Nevertheless, the main success of the various meetings held after March '89 has been to compare the immediate experimental replies of the "pioneering work" of the University of Utah and of the Brigham Young University, in order analyse in a more and more scientific way the reliability and reproducibility of such experiments.

Along this line, one of the merits of the Varenna workshop was to put all the reports and presentations on the same ground, whatever the outcome could be, keeping always in mind that every dispute should become a scientific controversy.

---

[1] Società Italiana di Fisica – *Atti di Conferenze, Vol. 24*, a cura di R.A. Ricci, F. De Marco e E. Sindoni, Varenna, 15-16 settembre 1989.

This scope has been achieved and only the absence of M. Fleischmann, S. Jones and M. Gai, who were unable to attend the meeting in spite of their personal interest, was a serious limitation. Nevertheless, the participation of the very qualified representatives of the most involved groups and laboratories (Harwell, Texas, PSI, Legnaro, Frascati (ENEA and INFN), Milano, CEC, Ispra, Berlin, Madrid, Roma-Sanità, CNR, Stockholm, Fribourg, etc) has been such that the various aspects of the problem could be talked in many details without any bias.

A possible assessment of the scientific issues of the observed phenomena has been summarized as follows:

Reality of the experimental findings

i.e. new phenomena, nuclear or not nuclear?

Fusion processes or not: spurious effects (other than physical: chemical, mechanical, background and/or micro phonic phenomena….).

No effects at all (out of natural noise).

Heat and Radiation

- *Heat measurements* (calorimetry); positive results (nuclear of chemical?); negative results.

  If positive, only with electrolytic cells?

  What about heat measurements with gas cells?

- *Radiation*, if any: neutrons ($D + D \rightarrow {}^3He + n$); detection techniques, background events (external and/or internal); radioactivity (already present or induced); ^3He (mass spectrometry?)

  Tritium ($D + D \rightarrow T + p$) detection techniques relative abundance: D/T ratios; related protons, if possible

Other fusion reactions

$p + D \rightarrow {}^3He + (5Mev)$

$D + D \rightarrow {}^4He + (20\ MeV)$: exotic reaction detection and/or dissipation in lattice; ^4He mass spectrometry? Aneutronic fusion?

Relation between heat and radiation (if any): correlated, uncorrelated

The various possible combinations or the unexpected lack of correlations point out the difficulty of a possible occurrence of a nuclear-fusion process; on the other hand, a definite answer that could rule out real nuclear phenomena is not yet achieved. The reality of such phenomena, which seem to present different aspects in the case of electrolytic or gaseous cells, is strictly connected to the very critical experimental conditions (far from equilibrium) and the serious difficulty of controlling their evolution.

Still we are facing a field of research of fundamental interest not yet, as far as we actually know, open to important applications, which need further efforts from the experimental and theoretical point of view, to be brought back to the specialized laboratories and to the scientific audience.

4.3. Esperimenti di cosiddetta Fusione Fredda (1989-2007)

FRANCESCO CELANI
INFN - Laboratori Nazionali Frascati

L'annuncio di M. Fleischmann e S. Pons, il 23 marzo 1989, di aver realizzato la "Fusione fredda" in un semplice esperimento di elettro-chimica, mi spinse a tentare, con un misto di scetticismo e di speranza, di ripetere l'esperimento.

In uno specifico laboratorio attrezzato all'interno della sala C dei LNGS, a me ben noti per un precedente esperimento a cui avevo partecipato da protagonista (sigla FLUNE, obiettivo misura di neutroni di fondo all'interno della galleria del Gran Sasso in quel periodo in costruzione), effettuai una lunga (1989-1991) campagna di misure atte ad evidenziare emissione di neutroni provenienti dalla nota reazione D+D. In tale lavoro ero affiancato sia da Colleghi LNF (all'inizio numerosissimi, poi diminuiti in numero quando risulterà chiaro che l'esperimento era molto più complesso di quanto potesse sembrare all'inizio) che dai "soliti" Colleghi della Selenia e CSM con cui, da tempo, collaboravo per gli esperimenti di Superconduttività ad Alta Tc.

I materiali studiati e le procedure adottate furono sia "standard" per quel tipo di esperimenti (Palladio, Titanio, elettrolisi in continua di soluzioni litiate di D_2O) che non convenzionali:

a) elettrolisi pulsata, a bassa potenza, di tubi a parete sottile di Pd;

b) YBCO caricato con D_2 (e H_2 per confronto) per via gassosa ad alta pressione, 100bar, e bassa temperatura, 77K: osservazione di eventuali neutroni durante le fasi di transizioni di stato normale→superconduttivo→normale;

c) stimolazione di "extra-neutroni" ad alta molteplicità, sempre con YBCO deuterati, usando una debolissima sorgente di neutroni (^{241}Am-Be);

d) zeoliti riempite di D_2O;

e) perfino un particolare tipo di cemento, a presa super-rapida, fatto reagire con la D_2O: esperimento riprodotto con successo anche a Kamioka-Giappone da Steven Jones.

Le pubblicazioni al riguardo sono i numeri **1, 2, 3, 4, 5**.

Dopo i primi entusiasmi e le successive, brucianti delusioni, mi resi conto che gli sporadici fenomeni anomali sembravano avvenire soltanto in condizione di forzato non-equilibrio termodinamico. Fui dunque portato a concludere che la estrema irriproducibilità dei risultati fosse attribuibile alla non precisa conoscenza e criticità dei parametri di controllo del fenomeno.

Convinto che la realtà d'alcuni risultati sperimentali, per quanto irriproducibili, non potesse essere negata, decisi che valeva la pena di "scommettere" la mia professionalità e la mia credibilità di ricercatore su questa affascinante "Nuova Frontiera". Ero ben consapevole che il lavoro di ricerca si sarebbe rivelato lungo e complesso; prima di arrivare a qualche concreto risultato occorreva infatti "*scoprire e consolidare la cultura*"che sottintendeva il fenomeno.

Le varie sigle degli esperimenti effettuati (con il gruppo INFN di afferenza), gli eventuali co-finanziatori e principali Collaborazioni Scientifiche, sono riportate come in elenco:

a) *D_2O*: Gruppo 3 INFN, co-finanziato CNR; collaborazione con SELENIA, CSM.

b) *FERMI:* Gruppo 3 INFN;

c) *FREE*: Gruppo 3 INFN; finanziato anche da: Soc. ORIM (Italia). Collaborazione con Soc. Toyota (Giappone), MITI (Ministry Industry and Trade International, Giappone); CSM-SKITEC

d) *FREEDOM:* Gruppo 5 INFN; finanziato anche da: Soc. ORIM,; collaborazione con CSM, EURESYS;

e) *FREETHAI:* Gruppo 5 INFN; finanziato anche da: Soc. ORIM, Pirelli Labs (Italia); collaborazione con CSM, EURESYS, STMicroelectronics, Univ. Osaka (Giappone), Mitsubishi Heavy Industries (Giappone);

f) *DIAFF*:Gruppo 5 INFN; finanziato anche da: Soc. ORIM, CSM; collaborazione con EURESYS, STMicroelectronics, Univ. Osaka, Mitsubishi Heavy Industries.

Dal punto di vista "burocratico" sono sempre stato Responsabile Nazionale di tali esperimenti, escluso FERMI in cui sono stato Responsabile Locale. Gli esperimenti FREETHAI e DIAFF sono stati multi-sezionali (Univ.-INFN Lecce e Univ.-INFN Perugia).

La mia attività al riguardo è stata molto diversificata ed ha seguito gli sviluppi di tale, spesso aspramente contrastata, linea di ricerca.

Anticipo che il contributo innovativo apportato dallo scrivente, e dal gruppo multi-disciplinare che coordino (da 5 fino a 20 Ricercatori, secondo il tipo di esperimenti), è stato tale che ho ottenuto vari tipi di riconoscimenti/premi come di seguito elencati:

a) Nominato, Dicembre 1994, ex-officio, Referee della ANS (American Nuclear Society);

b) Premi Internazionali (1997), 2 Premi, sulle "Anomalies on Hydrogen/Deuterium-Loaded Metals": un premio in bene personale (valore circa 4MLire, dalla Fondazione CR Asti-FIAT Ricerche); un apparato scientifico (valore circa 10000US$, da Ditta USA);

c) Premio Nazionale (1° premio) al Congresso SIF 2003 come migliore presentazione a Congresso, Sezione 6 (Fisica Generale): premio in denaro (500€, da SIF);

d) Eletto membro (dall'Ottobre 2003) del Executive Committee della ISCMNS (International Society of Condensed Matter Nuclear Science); Ottobre 2006, rinnovato l'incarico per il secondo triennio (fino all'Ottobre 2009);

e) Nominato socio, Honoris Causa, della Russian Physical Society in data 25 Giugno 2007;

f) Eletto, con votazione plenaria segreta (per via elettronica) il 13 Ottobre 2007, Vice-Presidente e Chairman del Executive Committee della ISCMNS. Carica triennale.

Elettrolisi DC, trial internazionale

Successivamente agli esperimenti Underground su citati, nel **1992-1993** ho partecipato ad un "trial" internazionale (Giappone, Italia, USA) volto a verificare alcuni eccessi di calore macroscopici ottenuti dal Prof. Akito Takahashi (Università di Osaka) utilizzante alcune particolari lamine di Palladio, prodotte dalla società Tanaka KK, e sottoposte, per tempi lunghi (alcune settimane) a specifici e complessi cicli di elettrolisi (**Pub. 6, 7, 8**).

I risultati, anche se più modesti rispetto a quelli riportati da Takahashi (il nostro tipo di lamina era di un batch diverso da quello utilizzato da Takahashi), poiché ottenuti con un apparato sperimentale particolarmente affidabile e di facile calibrazione (calorimetro a flusso di nostra progettazione

e realizzazione nei LNF) mi hanno definitivamente convinto della esistenza del fenomeno (anche riguardo le anomalie termiche), anche se elusivo e di basso valore assoluto (la potenza in eccesso, quando fortunosamente ottenuta, era dell'ordine del 5-10% rispetto a quella di ingresso).

Elettrolisi pulsata ad alta potenza, durata microsecondi

Dopo tali risultati, nel **1993-1995**, facendo tesoro sia della specifica esperienza acquisita durante le misure nei LNGS (fenomeno di non-equilibrio) che delle misure con calorimetria a flusso nei LNF con il metodo di Takahashi (il calore in eccesso dipende in maniera massiccia dal complesso delle caratteristiche metallurgiche e purezza chimica del Pd), ho modificato il regime elettrolitico da continuo (usato probabilmente da oltre il 99% degli elettrochimici nel mondo) a quello impulsato: impulsi addirittura di durata di pochi microsecondi con correnti di picco di oltre 100A e tensioni fino a 300V.

L'idea di fondo era di ottenere il non-equilibrio tramite gli impulsi ed essere meno dipendenti dalla composizione di bulk del Pd grazie all'effetto pelle, intrinseco degli impulsi.

Tale procedura mi è stata all'inizio, e per lungo tempo, contestata dagli elettrochimici convenzionali che ritenevano *impossibile* effettuare elettrolisi con la specifica procedura da me adottata. Sono stato "costretto" a dimostrare ai miei Colleghi, particolarmente giapponesi, USA e francesi, la esattezza delle mie osservazioni costruendo addirittura speciali celle elettrolitiche trasparenti pressurizzate equipaggiate sia con strumentazione elettronica accessoria che con piccolo pallone di raccolta gas, atti a misurare il Deuterio che fuoriusciva dall'elettrodo alla fine dell'esperimento, anche visivamente (il palloncino doveva volare…). I risultati sono stati, oltre che pubblicati su rivista, presentati a numerose Conferenze Internazionali suscitando largo interesse ed infinite domande (**Pub. 12, 15, 16**). Comunque, tale procedura mi ha definitivamente qualificato come "Ricercatore altamente innovativo" sia nel limitato (circa 300 Ricercatori nel 2004, recentemente aumentato a circa 1000 a causa dell'interesse suscitato dalle nano-particelle di Pd come causa della generazione dei fenomeni anomali, vedi dopo) ed ultra-competitivo mondo della Fusione Fredda che quello più ampio e compassato della Superconduttività ad Alta Tc (**Pub. 10, 11**).

È degno di nota ricordare che grazie ad alcune tecnologie altamente innovative sviluppate per la Fusione Fredda (in particolare l'elettrolisi

pulsata ad alta potenza di picco), che abbiamo applicato anche ai miei studi "convenzionali" di Superconduttività ad Alta Temperatura Critica, siamo riusciti ad ottenere un significativo innalzamento (oltre 10K) della temperatura critica di detti materiali (in particolare di tipo YBCO, cioè Ittrio, Bario, Rame Ossigeno). Alla data odierna, un composto così trattato è risultato essere il più alto riportato in letteratura (**Pub. 9, 10, 11**).

Nel periodo **1995-1997** ho applicato l'elettrolisi pulsata non più a lamine ma a lunghi e sottili fili di Pd. Tale ulteriore sviluppo è dovuto sia a numerosi colloqui con i Prof. Giuliano Preparata ed Emilio del Giudice (fautori di un nuovo fenomeno fisico, da loro nominato "effetto Cohn-Aharonov", capace di aumentare l'overvoltage chimico sulla superficie di qualunque filo sottile percorso da corrente) che dalla necessità di utilizzare un metodo semplice e diretto per la misura della concentrazione di Idrogeno o Deuterio nel Pd (tramite la nota curva, detta di Baranowsky, che lega il valore della resistività del Pd al suo contenuto di Idrogeno o Deuterio).

I risultati ottenuti sono stati particolarmente lusinghieri (**Pub. 14, 17, 18, 19, 22**): pubblicati sia su rivista (*Physics Letters* A, ben 13 pagine) che illustrati durante numerose Conferenze sia Nazionali che Internazionali. Anche la stampa di larga diffusione si è occupata di tali risultati.

Elettrolisi RF

Un'applicazione estrema del sistema dell'impulsaggio è stato quello della elettrolisi a RF (circa 90 MHz) con concomitante "effetto Preparata" (così successivamente rinominato l'effetto Cohn-Aharonov, dopo il 2001, per la prematura scomparsa del Prof. Preparata) ma in regime AC.

I risultati (**Pub. 20**) sono stati sì particolarmente interessanti (apparente riduzione macroscopica della resistenza di un lungo filo di Pd fino a valori di zero Ohm) e di lunga durata (l'esperimento è durato oltre 4 mesi ed osservato da molte decine di Ricercatori provenienti, per tale specifico motivo, da tutto il mondo, ivi compresi Fleischmann e Pons) ma si è rivelato dipendere in maniera decisiva:

a) dalla forma d'onda della RF (prodotta per auto-oscillazione di uno specifico tipo di MOS-Power, non sinusoidale pura, con piccolo ma apprezzabile spike anodico, componenti catodiche ad altissima frequenza (GHz) provocate da elementi non lineari aggiunti alla circuiteria);

b) dal filo stesso. Una volta rottosi, è stato impossibile riprodurre l'effetto con altri spezzoni, apparentemente similari, sempre donati dalla Soc. ORIM SpA (recupera e purifica il Pd da scarti industriali).

Le misure di resistenza "zero" erano effettuate con impulsatore RF spento. Il fenomeno appariva soltanto con il Deuterio, non con l'Idrogeno; inoltre la temperatura massima dell'elettrolita doveva essere inferiore a circa 26 °C. La esauriente comprensione del fenomeno su citato rimane un problema ancora aperto.

Maggiore problema sperimentale del sistema dell'impulsaggio, ad alta potenza, di lunghi fili è risultato essere la generazione di disturbi spuri che molto spesso danneggiavano irrimediabilmente la restante elettronica a basso segnale utilizzata per monitorare completamente l'esperimento. La densità di corrente che attraversava il filo di Pd (con diametri di 50 μm e 100 μm) era dell'ordine di 50000 A/cm^2 con valori di picco, in alcuni esperimenti specifici, fino a 0.25 MA/cm^2, il tutto trascurando l'effetto pelle che diventa significativo considerando sia la breve durata temporale degli impulsi prodotti (500-5000 ns) che, soprattutto il tempo di salita (da 100 ns fino a circa 500 ns, a seconda della corrente erogata dall'impulsatore da me, come al solito, progettato e costruito).

Nuovi tipi di sali nell'elettrolita, diversi dal LiOD

Nel **1998**, anche a causa dei finanziamenti particolarmente limitati, ho cercato di evitare di danneggiare l'apparato in mio possesso e mi sono concentrato nello sviluppo di una qualche tecnica elettrolitica che potesse unire i vantaggi dei lunghi fili a quelli dell'impulsaggio (ma senza usare l'impulsatore di alta potenza su citato).

Ho quindi ripreso alcuni studi, da me effettuati a latere su elettroliti non-convenzionali a partire dal 1994, e ho evidenziato sperimentalmente che gli elementi alcalino-terrosi potevano essere utilizzati proficuamente per aumentare l'overvoltage sulla superficie di Pd, al posto del Li generalmente usato in tale tipo di esperimenti. Inoltre, *per primo al mondo*, ho introdotto l'uso di *sali di mercurio* sia per contrastare l'inevitabile danneggiamento del filo prodotto dall'assorbimento dell'Idrogeno o Deuterio (il cosiddetto "enbrittlement") che per aumentare ulteriormente il valore dell'overvoltage grazie alle intrinseche caratteristiche elettrochimiche del Hg metallico (depositato al catodo grazie all'elettrolisi).

Un lungo studio sistematico ha portato ad utilizzare sali di Sr, a concentrazione micromolare, al posto del Li (generalmente usato a concentrazioni 10000-100000 volte maggiori) unitamente al Hg (sotto forma di $HgCl_2$) a concentrazioni relative di circa 5-10 volte inferiori rispetto allo Sr. I risultati, con l'Idrogeno, sono stati realmente interessanti e soprattutto riproducibili (non solo nel nostro laboratorio). Sotto mia indicazione, i risultati sono stati *riprodotti indipendentemente*, con il loro apparato sperimentale, sia presso i *Pirelli Labs* (Milano) che negli USA presso lo SRII (*Stanford Research Institute International*) (**Pub. 26, 27**).

Scoperta di un nuovo batterio nella D_2O

Nel **1999-2000**, l'applicazione di tale tecnica all'acqua pesante non ha dato i risultati sperati.

Abbiamo osservato, in particolare, che il Hg sembrava "sparire "dalla soluzione elettrolitica e che inoltre era sempre più presente un odore riconducibile a quello proveniente da uno yogourt (sic!).

In breve, ho ipotizzato che nell'acqua pesante fosse presente un qualche batterio che non poteva proliferare nelle usuali condizioni elettrolitiche di Fusione Fredda (pH=13—14, dovuto al LiOD 0.1-1M), cosa invece possibile nelle nostre in cui la concentrazione di sali era moderata ed il pH di 4, favorevole quindi allo sviluppo delle forme viventi (**Pub. 25**).

Dopo una serie di complesse analisi i *batteri* sono stati effettivamente trovati e sono risultati essere almeno 2, e *nuovi***.** Sono stati registrati nelle specifiche data-bank di biologia (**Pub. 29, 30**): sono stati loro assegnati i nomi di *Ralstonia detusculanense* e *Stenotrophomonas detusculanense.* Il nome *de* proviene da *deuterio* e *tusculanense* in onore del sito in cui è stato trovato, cioè *Tusculum* (l'originario nome latino di Frascati).

L'osservazione dell'apparente scomparsa del Hg dalla soluzione elettrolitica è stata in seguito giustificata dal fatto che uno dei due nuovi batteri (*Ralstonia*) ha la inusuale capacità di metabolizzare perfino i sali di alcuni metalli pesanti (quindi anche il Hg), ha cioè caratteristiche chemiolitotrofiche. Successivamente, per puro spirito di ricerca (in quanto l'INFN ha come nome finale "…Nucleare") abbiamo provato il suo comportamento anche rispetto *all'Uranio*: è riuscito a "metabolizzarlo" fino alla notevole concentrazione di *10mM*.

La scoperta dei 2 nuovi batteri è stata riportata sia su *Le Scienze* (edizione italiana) che nei supplementi scientifici di quotidiani a larga diffusione (*Il Sole 24 Ore, Il Giornale*).

Nei LNF è stato organizzato un pomeriggio di studio (11 giugno 2001) dedicato ad illustrare tale scoperta. Si è avuta una larghissima partecipazione (aula AE, 250 posti a sedere, stracolma) di Ricercatori delle più svariate discipline (Fisici, Chimici, Biologi, Medici, Ingegneri, Geologi) ed Istituzioni (INFN, ENEA, Università, ISS, FF.AA.).

La Collaborazione che coordino è stata, molto recentemente (Giugno 2007), contattata da Alti Ufficiali del Centro Studi di Medicina Militare (Roma) per il possibile utilizzo della *Ralstonia detusculanense* sia per la neutralizzazione del tritolo esausto (il nostro batterio, similmente ad alcuni altri, dovrebbe essere capace di metabolizzare anche il TNT) che per l'eventuale bonifica di alcune zone, teatro di eventi bellici, in cui è stato fatto largo uso del cosiddetto "Uranio depleto". Il progetto, che vede coinvolti l'ENEA-Casaccia, l'Università di Roma "La Sapienza" ed una industria esperta in bio-reattori, è sotto la completa responsabilità del Ministero della Difesa ed in fase di valutazione per tutti i complessi aspetti "sanitari-logistici-economici-politici-strategici".

È notizia recente (2005) che la Società Nucleare Elettrica Spagnola (ENDESA) ha trovato, indipendentemente da Noi, un batterio tipo *Ralstonia detusculanense* anche nelle piscine di raffreddamento delle barre di combustibile esausto e, similarmente ai nostri lavori preliminari, ha applicato tale batterio per la bio-concentrazione di particolari metalli, nello specifico isotopi radioattivi. Hanno applicato, con pieno successo, tale tecnica per la bio-concentrazione del ^{60}Co ed hanno brevettato il processo a livello internazionale. Il loro lavoro scientifico è stato pubblicato su *International Microbiology* 8, pg 223-230 (2005).

Da notizie private recenti (2007), siamo venuti a sapere che ulteriori studi sono in corso per applicarli anche allo ^{90}Sr, ^{135}Cs, ^{137}Cs, cioè a tre dei più pericolosi prodotti di fissione dei reattori nucleari.

Unica consolazione di tale vicenda è che il gruppo spagnolo ha avuto il "buon gusto" di non cambiare il nome al batterio da loro riscoperto.

Come pura curiosità (notizia apparsa su Science e riportata su "Le Scienze" nel Settembre 2006) di un qualche interesse pratico-finanziario, informo che è stato recentemente dimostrata l'origine delle pepite d'oro: è dovuta proprio all'azione del batterio *Ralstonia metallidurans.*

Il *metallidurans*, per molti aspetti, è una variante "meno resistente" a situazioni ambientali avverse, rispetto alla *detusculanense*. Un lavoro sistematico sulle varie specie di *Ralstonia* è stato effettuato dal DoE (Department of Energy, USA) con sequenziamento completo di alcune di esse.

NOTA

Ritengo quindi auspicabile che l'INFN effettui le opportune scelte di politica scientifica per promuovere l'applicazione di tale nuovo tipo di batterio per il biorisanamento ambientale da metalli pesanti e/o radioattivi.

Introduzione di soluzioni idro-alcooliche

A partire dal 2001, allo scopo di ridurre in maniera apprezzabile i problemi derivanti dalla presenza batterica nell'acqua pesante, abbiamo studiato nuovi tipi di soluzioni elettrolitiche. Una lunga serie di considerazioni elettrochimiche ci hanno portato alla decisione di utilizzare soluzioni idro-alcooliche (alcool etilico), prima a base di Idrogeno e successivamente deuterate. I risultati sono stati interessanti anche perché è stato possibile di nuovo effettuare anche misure (**Pub. 31, 32**) di eccesso di Trizio statisticamente significative. Il tutto grazie sia alla ridottissima concentrazione di tale isotopo nella soluzione alcoolica di partenza che alla bassa percentuale (5-7%) di D_2O aggiunta (la concentrazione di T nella D_2O da noi utilizzata è comunque abbastanza bassa, equivalente ad una attività specifica di circa 200 dpm/ml).

Evidenza di variazioni isotopiche/composizione, utilizzo del Th

Successivamente, a partire da Luglio 2002, stimolati dai risultati sperimentali ottenuti da un gruppo di ricerca giapponese, operante alla Mitsubishi Heavy Industries (MHI) e coordinato dal Dr. Yasuhiro Iwamura, abbiamo iniziato ad effettuare misure sistematiche sulla eventuale anomala presenza di elementi nella cella elettrolitica dopo i processi di ipercarica catodica. Per tale scopo abbiamo costruito un nuovo tipo di cella elettrolitica, unicamente in vetro e PTFE, ottimizzata dal punto di vista della "pulizia". Le misure sono state effettuate utilizzando le ben note ed estremamente sensibili tecniche analitiche della ICP-MS.

I risultati sono stati positivi poiché abbiamo evidenziato anomalie composizionali ed isotopiche simili a quelle riscontrate dal gruppo della Mitsubishi operante in un sistema gassoso (**Pub. 34**).

Le anomalie sono diventate ancora più significative (**Pub. 35, 36, 41**) quando allo Stronzio-Mercurio precedentemente utilizzato abbiano sostituito il Torio-Mercurio. L'uso del Th è stato motivato anche dal desiderio di comprendere con un maggiore livello di confidenza alcune misure esplorative da noi effettuate nel 1998 (**Pub. 23**) in cui veniva usato proprio il Torio. Inoltre, il Th ha l'inusuale proprietà di rendere "più resistenti" fili sottili verso stress meccanici e termici.

Come dato di fatto, dopo l'aggiunta del Th (sotto forma di sali solubili) a livello micromolare, alle nostre soluzioni elettrolitiche, il grosso problema dell'improvvisa, ed incontrollabile, rottura dei sottili (diametro 50μm) fili di Pd che prima affliggeva i nostri esperimenti è, di fatto, completamente scomparso.

L'evidenza sperimentale delle inspiegabili "trasmutazioni" di ^{88}Sr (in ^{96}Mo), ^{133}Cs (in ^{141}Pr), specialmente con il metodo sviluppato da Yashuiro Iwamura (MHI), e confortato da evidenze qualitativamente similari nelle mie celle elettrolitiche (**Pub. 34, 35, 36, 41**), mi ha indotto a proporre, a livello Ministeriale (sin dal 2005), un particolare progetto di ricerca (a livello Internazionale) che avesse 3 obiettivi, scalati temporalmente, il cui obiettivo finale fosse di sostituire lo Sr e Cs naturali con quelli radioattivi e cercare di "trasmutarli" in elementi meno pericolosi rispetto a quelli originali. Ovviamente lo Sr e Cs radioattivi in oggetto sono quelli contenuti nei prodotti di fissione di qualunque tipo di reattore nucleare e rappresentano, dopo 10 anni di "cooling down" nelle apposite piscine di raffreddamento, la stragrande maggioranza dei suddetti prodotti. Una specifica relazione è stata data alla ICCF12 (**Pub. 42**) nel 2005.

Attualmente, dopo alterne e complesse vicende, il progetto (impegnativo anche a livello economico, circa 30M€) è stato inviato al MSE (Ministero delle Sviluppo Economico) nel luglio 2007 ed a gennaio 2008 è attesa la risposta dei Referee Internazionali. L'insieme dei progetti, a cui anche il nostro afferisce, è stato denominato dal MSE: Bando Energia Programma 2015, Area Tecnologica OTP1 (Tecnologie per la gestione dell'impatto ambientale sulla generazione d'energia).

Al progetto è stato dato il nome di **CETRA**. Ha per argomento specifico:

"Tecnologia per la bonifica di radionuclidi prodotti da impianti per la generazione di energia elettrica. Sfruttamento industriale mediante micro e nanotecnologie di fenomeni di trasmutazione di elementi per ora dimostrati in laboratorio".

Le Società/Istituzioni coinvolte nel nostro progetto sono:

STMicroelectronics (siti di Cornaredo e Catania, Società Industriale, tipo "grande impresa", capo-progetto secondo le direttive ministeriali del MSE per tali tipi di progetti); INFN-LNF; ORIM; CSM; Politecnico di Milano (gruppo CESNEF); ASM (reparto ricerca della azienda elettrica di Brescia). Nel progetto ricopro il ruolo di *"Responsabile Scientifico"*.

Identificazione non ambigua del sito-origine dell'eccesso termico

Altro aspetto importante, negli studi volti ad evidenziare eventuali eccessi termici in sistemi con catodo filiforme di Pd e D_2O, è l'utilità di correlare l'eccesso termico, spesso di bassa entità, con un altro parametro di processo: si otterrebbero quindi dati con un livello di "confidenza" nettamente più elevato rispetto ad un solo parametro (cioè la temperatura di soluzione). Nel caso dei fili sottili il parametro più comodo, per misurare il valore D/Pd, è l'utilizzo della cosiddetta "curva di Baranowsky" che lega la concentrazione del Deuterio al valore della resistività del nuovo composto PdDx. Purtroppo l'andamento della curva ha un massimo (corrispondente ad un valore di D/Pd pari a circa 0.8 e valore di R/R_o pari a 2, con R_o il valore unitario nel caso di assenza di Deuterio) ad una concentrazione generalmente considerata non sufficiente per ottenere anomalie termiche: successivamente decresce, sia per valori $D/Pd<0.8$ che $D/Pd>0.8$.

Il problema sorge in quanto, a causa dell'elettrolisi, pur avendo documentato (in funzione del tempo) l'eventuale aumento della resistenza, il suo passaggio per il massimo e la decrescita ad un valore "interessante (ad esempio R/Ro=1.6 a cui corrisponde un D/Pd di 0.95), a causa di improvvisi degassing a valori di D/Pd relativamente bassi (con durata temporale intrinseca di poche decine di ms, dato il limitato) - 50μm - spessore del filo utilizzato, da confrontarsi con i 10 secondi del ciclo di acquisizione), verrebbe completamente ignorato l'evento indesiderato che ha gravi effetti dal punto di vista sperimentale.

Unica risorsa per risolvere l'ambiguità rimane l'utilizzo del coefficiente termico resistivo (RTC) del composto PdDx. Tale RTC ha valori abbastanza bassi per bassi valori di D/Pd e cresce rapidamente (cfr **Pub. 27, 44**), per piccole variazioni di concentrazione, ad alti valori. In breve, ho sviluppato un circuito elettronico che ciclicamente, cioè ogni 100 secondi, inietta correnti AC (a 10 kHz) con intensità bassa (il riferimento) ed alta permettendo quindi di risolvere l'ambiguità sul valore reale di D/Pd tramite l'effetto che il, costante, Joule heating sul filo ha sul valore di R/Ro. Tale circuito (**Pub. 38**) è stato salutato con gioia dai numerosi colleghi che utilizzano fili sottili ed attualmente, opportunamente adattato alle esigenze dei diversi set-up sperimentali, è diventato lo "standard" per qualificare eventuali eccessi termici. Oltre all'Invited Paper, ho dato anche una sorta di "tutorial lesson" di oltre 3 ore, al Congresso ICCF11 di Marsiglia, per spiegare i dettagli hardware della procedura. La lezione è stata tenuta, per motivi di tempo, dopo la fine delle presentazioni programmate e rivolta ad un pubblico specialistico.

Compressione elettrochimica di D_2 in catodo cavo di Pd

Nel 2005, mio malgrado, sono rimasto coinvolto in una polemica scientifica che aveva come oggetto la impossibilità teorica di "comprimere", in un catodo cavo di Pd, con una cella elettrolitica praticamente aperta (sovrapressione di circa 0.1 bar), l'Idrogeno o il Deuterio a pressioni superiori di pochi bar. Poiché la maggior parte degli studi sperimentali, fino al 2005, di CMNS utilizzavano l'elettrolisi come metodo chiave per comprimere il Deuterio dentro il Pd a pressioni equivalenti medie anche di oltre 50000 bar (con D/Pd pari a 0.95), ed a valori (stimati) di qualche Mbar sulla superficie, negare la possibilità della compressione elettrochimica era equivalente a negare l'esistenza di TUTTI gli studi sperimentali di CMNS basati sull'elettrolisi.

Poiché avevo svariate prove sperimentali, sin dal 1992, della bontà del metodo elettrolitico e la polemica, originata da un noto (potente ed influente) chimico nucleare (Prof. Camillo Franchini) del CISAM (S. Piero a Grado) aveva assunto vaste proporzioni (addirittura un "BLOG" con decine di migliaia di accessi), sono stato costretto (in quanto figura eminente, in Italia, della CMNS) a riprodurre, in piccolo, l'apparato sperimentale "principe" riguardo la compressione elettrochimica. Tale apparato era stato sviluppato nel 1955 dal Prof. Yoshiaki Arata (Univ. di Osaka, Giappone) nell'ambito della "Fusione Calda" per la produzione di D_2 pressurizzato (fino a circa 1000 bar).

Ebbene, nonostante sia riuscito a mostrare sperimentalmente la bontà del metodo elettrolitico (raggiunte pressioni di circa 9 bar con un catodo cavo, lega $Pd_{75}Ag_{25}$, avente uno spessore di parete di 50 μm (**Pub. 46**) e di circa 49 bar con un catodo cavo di Pd iperpuro e spessore di parete di 250 μm, quindi il limite di pressione dipende unicamente dalla resistenza meccanica del tubo di Pd), purtuttavia la polemica non si è esaurita poiché, secondo il Franchini, se un esperimento non ha una esauriente spiegazione teorica, anche se sperimentalmente *sembra* funzionare, ha sicuramente un qualche "baco" nascosto. Ovviamente, essendo io un fautore del metodo sperimentale "galileiano", non sono in accordo con le motivazioni pseudo-teoriche/filosofiche addotte; d'altronde l'ago del manometro (messo all'uscita del catodo cavo) non conosce le "teorie" e si muove in accordo alla specifica elettrolisi effettuata.

La rivoluzione delle nano-particelle deuterate

Durante la Conferenza ICCF12 del 2005, nell'ambito degli studi sulla CMNS, è stato dato l'annuncio, dal già citato Prof. Arata, di un innovativo set-up sperimentale che, per molti aspetti, era una vera e propria "rivoluzione" (cfr. stessi riferimenti di Pub. 44 escluso le pg, che da 373-403 diventano 44-54).

In breve, utilizzando l'insieme di varie metodologie innovative in cui Arata nella sua lunghissima carriera era stato pioniere, era riuscito a dimostrare, in maniera elegante e non-ambigua, la generazione di calore anomalo, ad alta temperatura (>140 °C), quando opportune nano-particelle di Pd, omogeneamente disperse in una matrice di Zirconia, ed immesse in un catodo cavo di Pd, venivano a contatto con Deuterio gas pressurizzato (>60 bar).

In dettaglio, non veniva più utilizzata l'elettrolisi per lo "iper-caricamento" del Deuterio nel Pd ma l'effetto equivalente veniva demandato alle particolari *proprietà intrinseche* di alcuni specifici materiali *nanometrici*. Vantaggio immediato era il risparmio energetico dovuto all'assenza dei processi elettrolitici: il deuterio veniva fatto assorbire dalle nanoparticelle per pressione una sola volta, all'inizio dell'esperimento. Altro vantaggio era l'opportunità di immettere dentro il reattore soltanto il "materiale attivo" che, fra l'altro, aveva un comportamento chimico fisico, riguardo l'assorbimento dell'Idrogeno o Deuterio, completamente inaspettato ed assolutamente superiore a qualunque materiale in forma di bulk.

Limiti del materiale sviluppato da Arata (lega amorfizzata di $Pd_{35}Zr_{65}$, composizione finale Pd_{35}-$(ZrO_2)_{65}$, con procedura metallurgica, erano sia i costi di produzione estremamente elevati e complessi (metallurgia del melt spinning a circa 1200 °C in atmosfera protettiva, velocità di raffreddamento dell'ordine di un milione di °C al secondo, ossidazione selettiva dello Zr) che temperatura operativa massima del composto D_x-$[Pd_{35}$-$Zr_{65}]_y$ dell'ordine di 210 °C.

Obiettivi del nostro gruppo di ricerca sono stati:

a) semplificazione del processo di produzione del materiale nanostrutturato, utilizzando metodologie chimiche di fabbricazione al posto di quelle metallurgiche;

b) temperatura operativa massima, a pari pressione (dell'ordine di 60 bar a temperatura ambiente), sostanzialmente più elevata (dell'ordine di 300 °C), cioè tale da avere un rendimento termico migliore nel caso di una applicazione "tecnologica" del fenomeno;

c) sistema della camera di reazione semplificato (una sola camera in SS, cioè senza il catodo cavo in Pd);

d) sistema di misura delle anomalie termiche semplificato dal punto di vista operativo: costruite due camere, per quanto possibili eguali, in cui una è riempita con materiale inerte e la seconda con materiale potenzialmente "attivo". E' stato cioè implementato un sistema di misura differenziale.

La costruzione del nuovo sistema di misura e lo sviluppo di nuovi materiali è iniziato a luglio 2006.

Sono stati studiati numerosi materiali/composizioni, elencati nella **Pub. 47**. Tale pubblicazione, per ora solo preprint dei LNF in attesa della pubblicazione su un volume della World Scientific, viene **allegata** per intero come file **pdf** ((LNF-07-(18P).

Attualmente, rispetto alla Pub. 47 (del luglio 2007), la situazione è ulteriormente migliorata poiché, grazie ad un sostanzialmente miglioramento (durante la fase di calcinazione→sinterizzazione) da me apportato al processo di fabbricazione (che noi stessi avevamo sviluppato), siamo riusciti ad avere un eccesso termico dell'ordine di 500 mW/g di Pd, alla temperatura di 300 °C. Per confronto, i migliori risultati con il Pd_black ad alta superficie specifica, fornito dalla Società Chimica Aldrich, erano stati di circa 130 mW/g che, a causa dei cicli termici (300→20→300 °C) degradava a soli 40 mW/g in pochi giorni.

Un lavoro è stato presentato al recente 8° Workshop Internazionale sulle anomalie Deuterio-Metallo (tenutosi ad ottobre 2007 a Catania) ed il lavoro è in corso di stesura. Il materiale, da noi interamente sviluppato nei LNF, si basa sulla procedura della "incipient wetting impregnation" di materiale nano-poroso (gamma Allumina, diametro medio dei pori di 5.8 nm). Tale materiale viene "riempito" con una miscela di sali solubili (nitrati) di palladio e stronzio che vengono opportunamente decomposti ad alta temperatura in un forno ad atmosfera controllata.

Dal punto di vista prettamente scientifico, sin dal 2004 (**Pub. 41**), osservando con il SEM (scanning electron microscope) la superficie di alcuni fili di Pd che avevano dato eccessi termici, ci siamo resi conto dell'importanza delle strutture nanometriche (e/o frattali) dal punto di vista della produzione di anomalie termiche e/o isotopiche-composizionali. A tale riguardo, ho anche sviluppato un'opportuna circuiteria elettronica atta a massimizzare la produzione di tali nano-strutture (**Pub. 43**).

Per concludere, il lento processo di acquisizione di "cultura" per rendere riproducibile un fenomeno elusivo come la "fusione fredda", grazie anche al mio contributo, sembra avviarsi verso una felice conclusione "scientifica". Gli studi da effettuare ulteriormente per passare ad una fase "tecnologica" dipendono, a mio parere, soltanto dall'impegno economico da sostenere. Ovviamente, data la complessità del problema, un approccio multidisciplinare è, a mio parere, indispensabile.

Per tale obiettivo abbiamo recentemente proposto un (piccolo) progetto Internazionale (Italia-Cina, collaborazione MIUR-MOST), durata quadriennale (importo totale di circa 2M€) per l'ulteriore sviluppo sia della nostra procedura di fabbricazione delle nano-particelle che per aumentare la temperatura operativa (e set up sperimentale) fino a 600 °C. Riguardo i Colleghi cinesi, il loro obiettivo è l'utilizzo, con opportune modifiche, dei SWNT (Single Wall Nano Tube) in carbonio con il deuterio pressurizzato. Attualmente alcuni gruppi di ricercatori cinesi hanno sviluppato una nuova tecnica per produrre i costosissimi SWNT a prezzi circa 100 volte inferiori rispetto a quelli praticati nel resto del mondo.

Il progetto, un FIRB, ha come codice di protocollo RBIN07RSBE. Dal punto di vista organizzativo, per la parte italiana, l'unità operativa che coordina il lavoro, essendo un FIRB, è l'Università di Lecce. In ordine d'impegni economici e risorse umane si hanno: INFN-LNF, STMicroelectronics, CSM.

Lista Pubblicazioni

1) F. CELANI, A. SPALLONE, M. DE FELICI, F. L. FABBRI, L. LIBERATORI, A. SAGGESE, V. DI STEFANO, P. MARINI, S. PACE, S. BIANCO, L. DONATI: *"Results of the 1st generation experiments, at Gran Sasso underground laboratory, on nuclear cold fusion."*Conf. Proc. "Understanding Cold Fusion Phenomena"; Edited by R.A.Ricci, E.Sindoni and F.De Marco - SIF, ISBN 88-7794-031-X, Vol. 24, pg. 257-266 (1989). **Invited Paper.**

2) F. CELANI, A. SPALLONE, L. LIBERATORI, B. STELLA, F. FERRAROTTO, M. CORRADI, P. MARINI, S. FORTUNATI, M. TULUI. *"Measurements in the Gran Sasso Laboratory: evidence for nuclear effects in electrolysis with Pd/Ti and in different tests with Deuterated High Temperature Superconductors."* AIP Conference Proceedings Vol. 228: "Anomalous Nuclear Effects in Deuterium/Solid Systems" Provo, Utah (USA), pg. 62-100, (1990). ISBN: 0-88318-833-3. **Invited Paper.**

3) F. CELANI, A. SPALLONE, S. PACE, L. LIBERATORI, A. SAGGESE, V. DI STEFANO, P. Marini. "*Further measurements on electrolytic cold fusion with D_2O and Pd at Gran Sasso laboratory* " Fusion Technology, Vol. 17- 4, pg.718-724, (1990). ISSN: 0748-1896.

4) F. CELANI, A. SPALLONE, L. LIBERATORI, F. CROCE, L. STORELLI, S. FORTUNATI, M. TULUI, N. SPARVIERI. *"Search for neutron emission from Deuterided High Temperature Superconductors in a very low background environment."* SIF Conf. Proc. Vol. 33 "The Science of Cold Fusion" Ed. T. BRESSANI, E. DEL GIUDICE, G. PREPARATA. II Annual Conference of Cold Fusion. Como, Italy pg. 113-121; (1991). ISBN: 88-7794-045-X. **Invited Paper.**

5) F. CELANI, A. SPALLONE ET AL. "Search for enhancement of neutron emission from neutron-irradiated, deuterited, high temperature superconductors in a very low background environment." Fusion Technology, Vol. 22, pg. 181, (1992).

6) F. CELANI, A. SPALLONE, P. TRIPODI, A. NUVOLI. **"***Measurements of excess heat and Tritium during self-biased pulsed electrolysis of Pd-D_2O."* Proceedings of the Third Intern. Conf. on Cold Fusion.- Nagoya, Japan. "Frontiers of Cold Fusion". Edited by H. Ikegami, Universal Academy Press, Inc. Tokyo, Japan. Frontiers Science Series No. 4, pg. 93-105. (1992). ISBN: 4-946443-12-6. **Invited Paper.**

7) B. STELLA, M. CORRADI, F. FERRAROTTO, V. MILONE, F. CELANI, A. SPALLONE. *"Evidence for stimulated emission of neutrons in Deuterated Palladium."* Proceedings of the Third Intern. Conf. on Cold Fusion.- Nagoya, Japan. "Frontiers of Cold Fusion". Edited by H.Ikegami, Universal Academy Press, Inc. Tokyo, Japan. Frontiers Science Series No. 4, pg. 437-440. (1992). ISBN: 4-946443-12-6.

8) B. STELLA, M. ALESSIO, M. CORRADI, F. CROCE, F. FERRAROTTO, S. IMPROTA, N. IUCCI, V. MILONE, VILLORESI, F. CELANI, A. SPALLONE: *"The FERMI apparatus and a measurement of Tritium production in an electrolytic experiment."* Proceedings of the Third Intern. Conf. on Cold Fusion.- Nagoya, Japan. "Frontiers of Cold Fusion". Edited by H.Ikegami, Universal Academy Press, Inc. Tokyo, Japan. Frontiers Science Series No. 4, pg. 503-506. (1992). ISBN: 4-946443-12-6.

9) F. CELANI, M. BOUTET, D. DI GIOACCHINO S. PACE, M. POLICHETTI: *"Enhancement of critical temperature up to 100 K of YBCO ozone annealed pellets by deuterium absorption"*, Physics Letters A,Vol. 183, pg. 238-242, (1993).

10) F. CELANI, M. BOUTET, D. DI GIAOCCHINO, A. SPALLONE, P. TRIPODI, S. PACE, M. POLICHETTI, A. MARINI: *"First results about hydrogen loading by means of pulsed electrolysis of Y1Ba2Cu3O7 pellets"* Physics Letters A, Vol. 189, pg. 395, (1994).

11) D. DI GIOACCHINO, M. BOUTET, A. SPALLONE, P. TRIPODI, F. CELANI: *"AC susceptibility Measurements of YBCO sintered pellets loaded with Hydrogen by microsecond pulsed electrolysis."* Current Topics in Magnetic Research, Pg. 1, (1994).

12) F. CELANI, A. SPALLONE, P. TRIPODI, A. NUVOLI, A. PETROCCHI, D. DI GIAOCCHINO, M. BOUTET, P. MARINI, V. DI STEFANO: *"High power microsecond pulsed electrolysis for large deuterium loading on Pd plates."* Fusion Technology, Vol. 26-4T, pg. 127-137, (1994). ISSN: 0748-1896.

13) B. STELLA, F. CELANI, M. CORRADI, F. FERRAROTTO, N. IUCCI, V. MILONE, A. SPALLONE, G; VILLORESI: "*A high efficiency, low background neutron and gamma detector for cold fusion experiments."*Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A, Vol. 355, pg. 609-617, (1995).

14) F. CELANI, A. SPALLONE, P. TRIPODI, A. PETROCCHI, D. DI GIOACHINO, P. MARINI, V. DI STEFANO, S. PACE, A. MANCINI: "*High power microsecond pulsed electrolysis using Palladium wires: evidence for a possible phase transition under Deuterium overloaded conditions and related excess hea*t" Proceedings of the "Fifth Intern. Conf. on Cold Fusion ", April 9-13 1995 - Monte-Carlo, Monaco. ICCF5 Copyright 1995. pg.57-68, (1995). **Invited Paper.**

15) F. CELANI, A. SPALLONE, P. TRIPODI, A. PETROCCHI, D. DI GIOACCHINO, P. MARINI, V. DI STEFANO, M. DIOCIAIUTI, A. MANCINI: *"Study of Deuterium charging behaviour in Palladium and Palladium alloy plates, changing surface treatments, by microsecond pulsed electrolysis."* Proceedings of the "Fifth Intern. Conf. on Cold Fusion ", April 9-13 1995 - Monte-Carlo, Monaco. ICCF5 Copyright 1995. pg.411-418, (1995).

16) F.CELANI, A. PETROCCHI, A. SPALLONE, P. TRIPODI, D. DI GIOACCHINO, M. NAKAMURA, P. MARINI, V. DI STEFANO, G. PREPARATA, M. VERPELLI. *"Numerical simulation of Deuterium loading profile in Palladium and Palladium alloy plates, from experimental data obtained using μs pulsed electrolysis"* Proceedings of the "Fifth Intern. Conf. on Cold Fusion ", April 9-13 1995 - Monte-Carlo, Monaco. ICCF5 Copyright 1995. pg. 407-410, (1995).

17) F. CELANI, A. SPALLONE, P. TRIPODI, A. PETROCCHI, D. DI GIOACHINO, P. MARINO, V. DI STEFANO, A. MANCINI "*Deuterium overloading of palladium wires by means of high power microsecond pulsed electrolisis: suggestions of a phase transition and related excess heat"* Physics Letters *A*, Vol. 214, pg. 1-13, (1996).

18) F. CELANI, A. SPALLONE, P. TRIPODI ET AL. *"Reproducible D/Pd ratio over 1 and excess heat correlation by 1 microsecond pulse high current electrolysis."* Fusion Technology, Vol.29, pg. 398-404, (1996).

19) F. CELANI, A. SPALLONE, P. TRIPODI,D. DI GIOACCHINO, P. MARINI, V. DI STEFANO, A. MANCINI, S. PACE: *"New kinds of electrolytic regimes and geometrical configurations to obtain anomalous results in Pd(M) systems."* Proceedings of the Sixth Intern. Conf. on Cold Fusion: "Progress in New Hydrogen Energy" 1996 - Sapporo, Japan. Edited by Makoto Okamoto, Pub. by: NEDO, IAE, MITI (Japan). Vol. 1, pg. 93-104, (1996) **Invited Paper.**

20) F. CELANI, A. SPALLONE, P. TRIPODI, D. DI GIOACCHINO, A. MARINI, A. MANCINI: *"Observation of strong resistivity reduction in a Palladium thin long wire using ultra-high frequency pulsed electrolysis at D/Pd >1"* Proceedings of the Sixth Intern. Conf. on Cold Fusion: "Progress in New Hydrogen Energy" 1996 - Sapporo, Japan. Edited by Makoto Okamoto, Pub. by: NEDO, IAE, MITI (Japan). Vol. 1, pg. 228-233, (1996),

21) D. DI GIOACCHINO, P. TRIPODI, F. CELANI, A. SPALLONE: "Further enhancement of the critical temperature up to 105 K of hydrogen loaded YBCO melted samples by microsecond pulsed electrolysis." Physics Letters A Vol. 225 pg. 326-330 (1997).

22) F. CELANI, A. SPALLONE, P. TRIPODI, D. DI GIOACCHINO, S. PACE, G. SELVAGGI, P. MARINI, V. DI STEFANO, M. NAKAMURA, A. MANCINI: *"The effect of gamma-beta phase on H(D)/Pd overloading."* Proceedings of the "Seventh Intern. Conf. on Cold Fusion", Vancouver, Canada, Apr. 1998 Vol. 1, pg. 62-67 (1998). **Invited Paper.**

23) F. CELANI, M. ACHILLI, A. BATTAGLIA, C. CATTANEO, C. BUZZANCA, P.G. SONA, A. MANCINI: *"Preliminary results with "Cincinnati Group Cell" on Thorium "transmutation" under 50Hz, AC exicitation"* Proceedings of the "Seventh Intern. Conf. on Cold Fusion", Vancouver,Canada, Apr., 1998 Vol. 1, pg. 56-61 (1998). **Invited Paper.**

24) P. TRIPODI, D. DI GIOACCHINO, F. CELANI, J. D. VINKO: *"Increasing of superconducting pinning potential Up and critical current Jc due to hydrogen loading in sintered YBCO"* Physica C, Vol. 341-348, pg. 1127 (2000).

25) F. CELANI, A. SPALLONE, P. MARINI, V. DI STEFANO, M. NAKAMURA, A. MANCINI, S. PACE, P. TRIPODI, D. DI GIOACCHINO, C. CATENA, G. D'AGOSTARO, R. PETRAROLI, P. QUERCIA, E. RIGHI, G. TRENTA: *"High Hydrogen loading into thin Palladium wires through precipitate of alkaline-earth carbonate on the surface of cathode: evidence of new phases in the Pd-H system and unexpected problems due to bacteria contamination in the heavy water"* Proceedings of the "8th International Conference on Cold Fusion", Lerici (La Spezia) May 2000 SIF - Conf. Proc. Vol. 70, pg 181-190, (2000). Edited by F. Scaramuzzi, Compositori–Bologna. ISBN: 88-7794-256-8 **Invited Paper.**

26) A. SPALLONE, F. CELANI, P. MARINI AND V. DI STEFANO: *"New electrolytic procedure for the obtainment of very high H/Pd loading ratios: preliminary attempts for its application to the D-Pd system."* Proceedings of the "8th International Conference on Cold Fusion", May 2000, Lerici (Italy) SIF - Conf. Proc. Vol. 70, pg 191-198, (2000). Edited by F. Scaramuzzi, Compositori–Bologna. ISBN: 88-7794-256-8.

27) P. TRIPODI, M.C.H. MCKUBRE, F.L. TANZELLA, P.H. HONNOR, D. DI GIOACCHINO, F. CELANI, V. VIOLANTE: "*Temperature coefficent of resistivity at compositions approaching PdH*" Physics Letters A Vol. 276, pg. 122-126, (2000).

28) F. CELANI, D. DI GIOACCHINO, P. TRIPODI: "*Room temperature oxidation of sintered YBCO using microsecond pulsed electrolysis*" Physica C, Vol. 341-348, pg. 1135 (2000).

29) G. D'AGOSTARO, F. CELANI ET AL. (FREEDOM Collaboration): "*Ralstonia detusculanense*" National Centre Biology Information-GenBank (Bethesda, USA) Locus: AF280433; Taxonomy ID:148618; October 24, 2000 http://www.ncbi.nlm.nih.gov/

30) G. D'AGOSTARO, F. CELANI ET AL. (FREEDOM Collaboration): "*Stenotrophomonas detusculanense*" National Centre Biology Information-GenBank (Bethesda, USA) Locus: AF280434; Taxonomy ID:148630; October 24, 2000 http://www.ncbi.nlm.nih.gov/

31) F. CELANI, A. SPALLONE, P. MARINI, V. DI STEFANO, M. NAKAMURA, A. MANCINI, G. D'AGOSTARO, E. RIGHI, G. TRENTA, P. QUERCIA, C. CATENA: *"Electrochemical D loading of Palladium wires by heavy ethyl-alcohol and water electrolyte, related to **Ralstonia** bacteria problematics"* Proceedings of the 9th International Conference on Cold Fusion: "Condensed Matter Nuclear Science" Beijing (China), May 19-24, 2002;

pg. 29-35 (2002). Edited by Xing Z. Li. ISBN: 7-302-06489-X. **Invited Paper.**

32) F. CELANI, A. SPALLONE, P. MARINI, V. DI STEFANO, M. NAKAMURA, E. RIGHI, G. TRENTA, P. QUERCIA, A. MANCINI, G. D'AGOSTARO, C. CATENA, S. SANDRI, C. NOBILI, V. ANDREASSI: *"Evidence of anomalous Tritium excess in D/Pd overloading experiments"* Proceedings of the 9th International Conference on Cold Fusion: "Condensed Matter Nuclear Science" Beijing (China), May 19-24, 2002; pg. 36-41, (2002). Edited by Xing Z. Li. ISBN: 7-302-06489-X. **Invited Paper.**

33) A. SPALLONE, F. CELANI, P. MARINI AND V. DI STEFANO: *"Experimental studies to achieve H/Pd loading ratio close to 1 in thin wires, using different electrolytic solutions"* Proceedings of the 9th International Conference on Cold Fusion: "Condensed Matter Nuclear Science" Beijing (China), May 19-24, 2002; pg. 19-24, (2002). Edited by Xing Z. Li. ISBN: 7-302-06489-X

34) F. CELANI, A. SPALLONE, P. MARINI, V. DI STEFANO, M. NAKAMURA, A. MANCINI, G. D'AGOSTARO, E. RIGHI, G. TRENTA, P. QUERCIA, C. CATENA, V. ANDREASSI, F. FONTANA, D. GARBELLI, L. GAMBERALE, D. AZZARONE, E. CELIA, F. FALCIONI, M. MARCHESINI, E. NOVARO: *"Unexpected detection of new elements in electrolytic experiments with Deuterated ethyl alcohol, Pd wire, Sr and Hg salts"*Proc. of 4th Meeting of Japan CF Research Society; October 2002, Iwate, Japan. Vol.4, pg. 17-21, (2002). http://dragon.elc.iwate-u.ac.jp/jcf/file/jcf4-05.pdf. **Invited Paper**

35) F. CELANI, A. SPALLONE, E. RIGHI, G. TRENTA, C. CATENA, G. D'AGOSTARO, P. QUERCIA, V. ANDREASSI, P. MARINI, V. DI STEFANO, M. NAKAMURA, A. MANCINI, P.G. SONA, F. FONTANA, L. GAMBERALE, D. GARBELLI, F. FALCIONI, M. MARCHESINI, E. NOVARO, U. MASTROMATTEO: *"Thermal and isotopic anomalies when Pd cathodes are electrolysed in electrolytes containing Th-Hg salts dissolved at micromolar concentration in C_2H_5OD/D_2O mixtures"* Proc. of 10th International Conference on Cold Fusion. 24-29 August 2003, Cambridge (MIT), Massachusetts, USA. Condensed Matter Nuclear Science series World Scientific, pg. 379-397, (2004). ISBN 981-256-564-7 **Invited Paper**

36) F. CELANI, A. SPALLONE, P. MARINI, V. DI STEFANO, M. NAKAMURA, A. MANCINI, P.G. SONA, E. RIGHI, G. TRENTA, C. CATENA, G. D'AGOSTARO, P. QUERCIA, V. ANDREASSI, F. FONTANA, L. GAMBERALE, D. GARBELLI, E. CELIA, F. FALCIONI, M. MARCHESINI, E. NOVARO, U. MASTROMATTEO: *"Further tests on composition and isotopic anomalies when Pd thin cathodes are electrolyzed in acidic C_2H_5OD/D_2O mixtures added with Th-Hg salts at micromolar concentration"* Proc. of 5th Meeting of Japan CF Research Society; December 2003, Kobe, Japan. Vol.5, pg. 41-45, (2003). http://dragon.elc.iwate-u.ac.jp/jcf/file/jcf5/jcf5_09.pdf **Invited Paper**

37) A. LORUSSO, V. NASSISI, E. FILIPPO, M. DI GIULIO, D. MANNO, G. BUCCOLIERI, F. CELANI: *"Measurements of new elements in Pd-H_2 thin films"* Proc. of 5th Meeting of Japan CF Research Society; december 2003, Kobe, Japan. Vol.5, pg. 19-22, (2003). http://dragon.elc.iwate-u.ac.jp/jcf/file/jcf5/jcf5_05.pdf

38) F. CELANI, A. SPALLONE, E. RIGHI, G. TRENTA, C. CATENA, G. D'AGOSTARO, P. QUERCIA, V. ANDREASSI, P. MARINI, V. DI STEFANO, M. NAKAMURA, A. MANCINI, P.G. SONA, F. FONTANA, L. GAMBERALE, D. GARBELLI, E. CELIA, F. FALCIONI, M. MARCHESINI, E. NOVARO, U. MASTROMATTEO: *"Innovative procedure for the, in situ, measurement of the resistive thermal coefficient of H(D)/Pd during electrolysis; cross-comparison of new elements detected in the Th-Hg-Pd(H) electrolytic cells"* Proc. of 11th International Conference on Cold Fusion. 31 October-5 November 2004, Marseilles, France. Condensed Matter Nuclear Science series. World Scientific, pg. 108-127, (2005). ISBN 981-256-640-6 **Invited Paper**

39) T. MIZUNO, T. AKIMOTO, A. TAKAHASHI, F. CELANI. *"Neutron emission from D2 gas in magnetic fields under low temperature"* Proc. of 11th International Conference on Cold Fusion. 31 October-5 November 2004, Marseilles, France. Condensed Matter Nuclear Science series. World Scientific, pg. 312-323, (2005). ISBN 981-256-640-6

40) A. SPALLONE, F. CELANI, P. MARINI, V. DI STEFANO. *"An overvieww of experimental studies on H/Pd over-loading with thin Pd wires and different electrolytic solutions"*. Proc. of 11th International Conference on Cold Fusion. 31 October-5 November 2004, Marseilles, France. Condensed Matter Nuclear Science series. World Scientific, pg. 392-404, (2005). ISBN 981-256-640-6

41) F. CELANI, A. SPALLONE, P. MARINI, V. DI STEFANO, M. NAKAMURA, F. TODARELLO, A. MANCINI, P.G. SONA, E. RIGHI, G. TRENTA, C. CATENA, G. D'AGOSTARO, P. QUERCIA, V. ANDREASSI, F. FONTANA, L. GAMBERALE, D. GARBELLI, E. CELIA, F. FALCIONI, M. MARCHESINI, E. NOVARO, U. MASTROMATTEO. *"Further Studies, about new elements production, by electrolysis of cathodic Pd thin wires, in alcohol-water solutions (H, D) and Th-Hg salts-New procedures to produce Pd nano-structures"* Proc. of 6th Meeting of Japan CF Research Society; April 27-28, 2005 Tokyo Institute of Technology, Japan. Vol.6, pg. 1-10, (2005) http://dragon.elc.iwate-u.ac.jp/jcf/file/jcf6/jcf6_proceedings.pdf **Invited Paper**

42) A. TAKAHASHI, F. CELANI, Y. IWAMURA.*"The Italy-Japan project - Fundamental research on cold transmutation process for treatment of nuclear wastes"* Proc. of 12th International Conference on Cold Fusion. 27 November-2 December 2005, Yokohama, Japan. Condensed Matter

Nuclear Science series. World Scientific, pg. 289-292, (2006). ISBN 981-256-901-4

43) F. CELANI, A. SPALLONE, E. RIGHI, G. TRENTA, G. D'AGOSTARO, P. QUERCIA, V. ANDREASSI, O. GIACINTI, P. MARINI, V. DI STEFANO, M. NAKAMURA, F. TODARELLO, E. PURCHI, A. MANCINI, P.G. SONA, F. FONTANA, L. GAMBERALE, D. GARBELLI, E. CELIA, F. FALCIONI, M. MARCHESINI, E. NOVARO, U. MASTROMATTEO. *"New procedures to make active, fractal-like, surfaces on thin Pd wires"*. Proc. of 12th International Conference on Cold Fusion. 27 November-2 December 2005, Yokohama, Japan. Condensed Matter Nuclear Science series. World Scientific, pg. 377-403, (2006). ISBN 981-256-901-4 **Invited Paper**

44) A. SPALLONE, F. CELANI, P. MARINI, V. DI STEFANO *"Measurement of the temperature coefficient of electrical resistivity of Hydrogen overloaded Pd"*. Proc. of 12th International Conference on Cold Fusion. 27 November-2 December 2005, Yokohama, Japan. Condensed Matter Nuclear Science series. World Scientific, pg. 404-410, (2006). ISBN 981-256-901-4

45) C. CATENA, D. POMPONI, G. TRENTA, F. CELANI, P. MARINI, G. DE ROSSI, V. TREMOLADA *"Acqua pesante (D_2O) irradiata: dal reattore nucleare alla cellula"* Fisica in Medicina, Vol.4, pg. 365-379 (2005). www.aifm.it

46) FRANCESCO CELANI, A. SPALLONE, P. MARINI, V. DI STEFANO, M. NAKAMURA, V. ANDREASSI A. MANCINI, E. RIGHI, G. TRENTA, E. PURCHI, U. MASTROMATTEO, E. CELIA, F. FALCIONI, M. MARCHESINI, E. NOVARO, F. FONTANA, L. GAMBERALE, D. GARBELLI, P.G. SONA, F. TODARELLO, G. D'AGOSTARO, P. QUERCIA. *"Electrochemical compression of Hydrogen inside a Pd-Ag thin wall tube, by alcohol-water electrolyte"*. Proc. of 7th Meeting of Japan CF Research Society; April 27-28, 2006, Kagoshima University, Japan. Vol.7, pg. 38-46, (2006).

http://wwwcf.elc.iwate-u.ac.jp/jcf/PAPER.HTML
http://www.lnf.infn.it/sis/preprint/pdf/getfile.php?filename=LNF-06-17(P).pdf **Invited Paper**

47) F. CELANI, A. SPALLONE, E. RIGHI, G. TRENTA, V. ANDREASSI, A. MARMIGI, P. QUERCIA, G. CAPPUCCIO, D. HAMPAI, P. MARINI, V. DI STEFANO, M. NAKAMURA, F. TODARELLO, E. PURCHI, A. MANCINI, P.G. SONA, F. FONTANA, L. GAMBERALE, D. GARBELLI, F. FALCIONI, M. MARCHESINI, DI BIAGIO, U. MASTROMATTEO *"High temperature Deuterium absorption in Palladium nano-particles"* Presented at 13th International Conference on Cold Fusion, June 24-July 2, 2007, Sochi (Russia) Submitted for pubblication by World Scientific. Preprint INFN-LNF 07/18 (P) September 19, 2007

http://www.lnf.infn.it/sis/preprint/pdf/getfile.php?filename=LNF-07-18(P).pdf **Invited Paper**

4.4. Search for neutron emission from titanium-deuterium systems

CORRADO BORAGNO, ROBERTO EGGENHOFFNER, PAOLO PRATI, GIOVANNI RICCO, MAURO TAIUTI, UGO VALBUSA

Università di Genova - Dipartimento di Fisica

After the first claims about the so called "cold-fusion" phenomenon, we investigated possible neutron emission during high deuterium adsorption in titanium lattice. This activity has been conducted at the Department of Physics of the Genoa University in collaboration with the Genoa research units of INFN and INFM.

We designed and realized a multiparametric high-efficiency neutron detector in order to verify, with increased neutron detection sensitivity, the results reported by Scaramuzzi.

The neutron detector is reported in Fig. 1. It is composed of three cylindrical coaxial scintillators shells. The inner shell is filled with NE213 liquid scintillator and the outer two are plastic NE102A. Cadmium sheets, 1 mm thick, are interposed between the scintillators to capture neutrons thermalized inside the detector. On top of the detector is located an anticoincidence scintillator to reduce the cosmic ray background. A 30 cm^3 cylindrical sample can be inserted in the central hole.

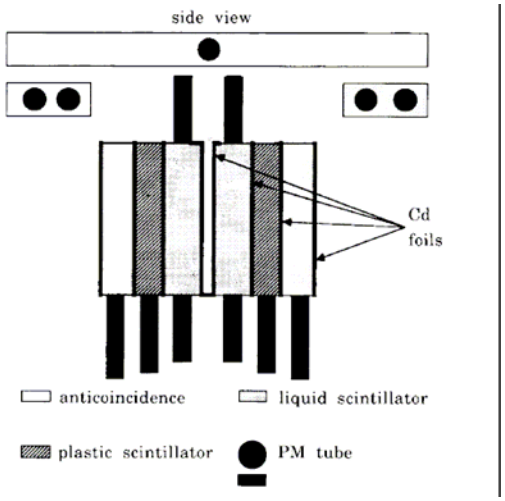

Fig. 1 - Detector geometry and composition

The size of the detector is relatively larger compared to the mean free path of the few MeV neutrons expected from fusion reactions. The neutrons emitted from the central sample thermalize mainly in the liquid scintillator and diffuse in the detector till they are captured in the cadmium foils. A neutron event is identified by two signals, the first corresponding to a neutron-like pulse in the liquid scintillator and the second to the detection of a gamma following the capture of the neutron in the cadmium foils. A detailed description of the detection principles and data analysis is reported in Ref. 1.

The detection sensitivity, with a 3σ confidence level, was estimated equal to 2.4 $T^{-1/2}$ neutrons/s, where T is the measurement time.

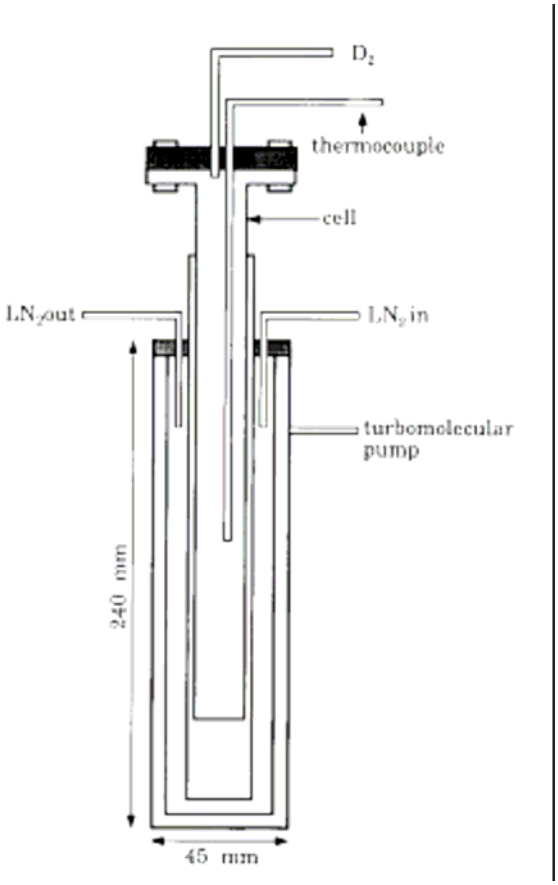

Fig. 2 - The titanium cell and the cryostat

We have performed the measurements flowing deuterium gas in different titanium samples: shavings and powders. A drawing of the cell used in the experiments is shown in Fig. 2. Great care was used to avoid thermal stresses on the neutron detector; for this reason high vacuum was continuously maintained in the external chamber.

More details on the measurements are reported in Ref. 2. We monitored the adsorption of deuterium and we obtained a deuterium-to-titanium ratio of 0.65. During the adsorption process we observed a rapid increasing of the temperature of the sample, but during all the measurements no neutron emission was detected. Therefore we did not find evidence of nuclear processes associated to the “cold fusion” phenomena and we were not interested to continue the investigation.

Bibliografia

1. G. RICCO, M. ANGHINOLFI, P. CORVISIERO, E. DURANTE, S. MAGGIOLO, P. PRATI, A. ROTTURA AND M. TAIUTI (1991) - *A Large Solid Angle Multiparameter Neutron Detector*. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research 1991, Vol.A307, pp.374-379
2. P. PRATI, G. RICCO, M. TAIUTI, C. BORAGNO, R. EGGENHOFFNER AND U.VALBUSA (1992) - *Search for Neutron Emission from Titanium-Deuterium Systems*. Il Nuovo Cimento 1992, Vol.105A, N.2 pp.293-299

4.5. Relazione sull'attività di ricerca a Catania sulla cosiddetta "Cold Fusion"

MARCELLO BALDO
INFN - Catania

Attività sperimentale

Nel 1989 incuriositi dalla possibile esistenza di un nuovo ed inatteso fenomeno detto di "fusione fredda", che riscontrava vivaci controversie sia sulla letteratura scientifica che in seminari organizzati da prestigiosi laboratori di ricerca nazionali ed internazionali (CERN, FRASCATI, LOS ALAMOS, RIKEN, SACLAY), alcuni ricercatori della Sezione INFN di Catania e del Dipartimento di Fisica idearono un esperimento seguendo il metodo detto di "Scaramuzzi".

Viene realizzata, presso il Dipartimento di Fisica di Catania, una cella di compressione in cui gas deuterio viene compresso su un bersaglio di palladio ottenuto per laminazione (camera di reazione COLF) , seguendo le indicazioni di esperti di stato solido dell'Università di Catania (Prof. P. Baeri, Prof. U. Campisano). In particolare si è tentato di evidenziare segnali nucleari in condizioni di transizione di fase della struttura del Palladio. Vengono utilizzati sistemi di identificazione per neutroni (NE213), per gamma (BaF2) e particelle cariche (Si) seguendo le procedure e le analisi sperimentali tipiche della fisica nucleare sperimentale.

L'osservazione prolungata di fasi "termiche" e di "compressione", in cui la concentrazione delle molecole di D_2 in Pd variava sensibilmente, non ha evidenziato segnali di neutroni e raggi gamma apprezzabilmente sopra il fondo naturale. Alcuni segnali venivano invece registrati nel rivelatore di particelle cariche**.**

I risultati furono presentati in una relazione su invito, nella conferenza di Varenna del 1989 suscitando molto interesse ed apprezzamento, e successivamente pubblicati su rivista specializzata sulla problematica generale della fusione**.**

Dopo questa prima fase di esperimenti, fu costruito ex-novo un dispositivo originale di rivelazione con camera di ionizzazione e silicio, successivamente calibrato per la rivelazione di protoni di bassissima energia attraverso sorgente di calibrazione α a tre valori di energia e

fascio di protoni da 2MeV diffuso su bersaglio di Au impiegando il Van De Graaff dell'Istituto di Fisica di Catania.

Il sistema di rivelazione consentiva di isolare una ben precisa regione della matrice DE-E, riducendo drasticamente il fondo, in cui era prevista la comparsa di eventi tipo " protoni" provenienti dalla supposta reazione $d+d \rightarrow p + t$. Sono stati isolati eventi compatibili con rivelazione di "protoni" che nella sostanza confermano le analisi precedenti. Tuttavia, il numero di conteggi misurati in condizioni di "upper limits", valutabili sotto ipotesi ottimistiche (assumendo che il fondo fosse nullo nella regione di energia dei protoni in esame), risultavano incompatibili (7 ordini di grandezza più bassi) con la supposta reazione di "fusione fredda" come indicata sia da Fleischmann (1989) che da Scaramuzzi (1989).

Pubblicazioni

1. S. AIELLO, P. BAERI, S.U. CAMPISANO, E. DE FILIPPO, G. FOTI, M.G. GRIMALDI, S. LO NIGRO, A. PAGANO AND L. TORRISI - *"Understanding Cold Fusion Phenomena"*. Editrice Compositori, SIF, Conference Proceedings Vol. 24, Eds. R.A. Ricci, E. Sindoni and F. De Marco, p. 273, Bologna 1989
2. S. AIELLO, E. DE FILIPPO, G. LANZANO' E A. PAGANO - *"Nuclear Fusion Experiment in Palladium Charged by Deuterium Gas"*. Fusion Technology, 18, 115 (1990)

Attività teorica

Negli stessi anni alcuni ricercatori del gruppo teorico dell'Università di Catania e del Gruppo IV della Sezione INFN di Catania hanno studiato la possibilità che l'interazione deutoni-plasmoni all'interno di un reticolo cristallino metallico, in particolare il Palladio, potesse essere responsabile di un'attrazione indotta deutone-deutone sufficiente ad incrementare in modo sostanziale la probabilità di fusione. Tale teoria fu successivamente perfezionata dal Dr. M. Baldo dell'INFN di Catania ed applicata alle caratteristiche fisiche proprie del Palladio.

La conclusione di tale elaborazione teorica è che l'interazione indotta dai plasmoni può dar luogo ad una "rate" di fusione compatibile con i dati degli esperimenti del gruppo del Prof. Jones (I.S.E. Jones et al., Nature 338**,** 737 (1989)), ma non con i dati presentati da M. Fleischmann and S. Pons (J. Electroanal. Chem. 261, 301 (1989)).

Pubblicazioni

1. M. BALDO AND R. PUCCI - *Plasmon Enhance Fusion***.** Editrice Compositori, SIF, Conference Proceedings, Vol. 24, Eds. R.A. Ricci, E. Sindoni and F. De Marco, p. 283, Bologna 1989.
2. M. BALDO, R. PUCCI AND P.F. BORTIGNON - *Relaxation Towards Equilibrium In Plasmon Enhanced Fusion.* Fusion Technology 18**,** 347 (1990).
3. M. BALDO - *Enhancement of Fusion Rate Induced by the Collective Electron Excitations.* Editrice Compositori, SIF, Conference Proceedings Vol. 33, Eds. T. Bressani, E. Del Giudice and G. Preparata, p. 187, Bologna 1991.

FULVIO FRISONE

Università di Catania - Dipartimento di Fisica

Il Dr. Fulvio Frisone, attualmente ricercatore del Dipartimento di Fisica dell' Università di Catania, ha svolto già da alcuni anni un'attività di ricerca sulla fusione fredda. Egli ha principalmente dato sostegno al modello di fissione indotta da plasmoni ed al modello delle cosiddette "microcracks", ed ha presentato le sue conclusioni in alcuni articoli e numerose comunicazioni a Congressi.

Ulteriori dettagli sull'attività del Dr. Fulvio Frisone si possono trovare sul sito WEB http://www.lombardoconsultspa.org/fulviofrisone/

Pubblicazioni

1. *Study on the Probability of Interaction Between The Plasmons of Metal and Deuterons.* Edita dalla Rivista Scientifica "Il Nuovo Cimento", vol.18 D, n.11 del novembre 1996.
2. *Can Variations in Temperature Influence Deuteron Interaction within Crystalline Lattices.* La Rivista Scientifica "Il Nuovo Cimento" vol.20 D, n.10, pp.1567-1580, dell'ottobre 1998.
3. *"Deuteron Interaction within a Microcrak in a Lattice at Room Temperature".* Fusion Thecnology**.** Vol.39 n.2, pp.260-265, marzo 2001
4. *Theoretical Model of the Probability of Fusion Between Deuterons within Deformed Crystalline Lattices with Microcraks at Room Temperature.* Fusion Thecnology. Vol. 40 n.2, pp.139-146, settembre 2001
5. *Manuale della Materia coerente verso la Fusione Fredda*, 2006

Contributi a congressi

Workshop su *"Anomalies in Hidrogen/Deuteroum Loaded Metals"*- Asti 26-30 novembre 1997, in cui ha presentato un contributo scientifico dal titolo: "Theoretical Hypothesis of the Phenomenon of Nuclear Cold Fusion", che è contenuto nelle seguenti pubblicazioni:

Congresso: "Atti di Conferenze - Asti Workshop on Anomalies in Hydrogen/Deuterium Loaded Metals".

Rivista Scientifica "Infinite Energy - Cold Fusion and New Energy Technology" Vol. 03, n.17, dicembre 1997-gennaio 1998

Rivista Scientifica "New Energy News" vol. 05, n.09, gennaio 1998

7° Congresso Mondiale su "*Cold Fusion*" - Vancouver in Canada 19-25 aprile 1998, in cui ha presentato un contributo scientifico dal titolo: "*Can Impurities within a Deuterated Crystalline Lattice have an Effect Favouring Cold Fusion?"*, che è contenuto nella pubblicazione del Congresso col seguente titolo: "ICCF-7 Vancouver - The Best Ever!".

Workshop tenutosi a Frascati dall'ENEA il 28 e 29 maggio 1998, argomento: "New Energy From Hydrogen".

85° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica" - Pavia 20-24 settembre 1999. Ha presentato un contributo scientifico dal titolo: "*Confronto tra due Modelli Teorici sulla Interazione fra Deuteroni in Reticoli Cristallini",* che è contenuto nella pubblicazione del Congresso col seguente titolo: "LXXXV Congresso Nazionale Società Italiana di Fisica".

7° Congresso Mondiale Russo sulla Fusione Fredda e Trasmutazione Nucleare - RCCNT-7" - SOCHI (Russia) 25 settembre - 3 ottobre 1999 organizzato da: "Russian Academy of Sciences", "Russian Physycal Society", "Nuclear Society of Russia", "Russian Mendeleev Chemical Society", "Moscow Lomonosov State University", "Russian Peoples Friendship University", "State Technical University (Madi)" e "Russian Committee on Ball Lightning". Ha presentato un contributo scientifico dal titolo: "*The Effects of Impurities and Variations in Temperature on the Interaction of Deuterons in Three - Dimensional Crystalline Lattices*", che è contenuto nella pubblicazione del Congresso col seguente titolo: "Cold Nuclear Transmutations - Proceedings of the 7th Russian Conference on Cold Nuclear Transmutations of Chemical Elements".

6a Conferenza Scientifica Triennale CRRNSM - Palermo 14-15 ottobre 1999. Ha presentato un contributo scientifico dal titolo: "*Fusion Reaction within a Microcrack in a Crystalline Lattice at Room Temperature*", che è contenuto nella pubblicazione del Congresso col seguente titolo: "Nuclear and Condensed Matter Physics" edito da "AIP - America Institute of Physics".

Conferenza sul tema "*L'interazione Nucleare: Motore del Mondo*" - Fiumefreddo di Sicilia il 6 agosto 1999 in occasione del "POSIDONE 1999".

4° Workshop - Asti 21-25 ottobre 1999. Ha presentato un contributo scientifico dal titolo: **"***Calculation of Deuteron Interactions within Microcrack of a D2 Loaded Crystalline Lattice at Room Temperature***"**, che è contenuto nella pubblicazione del Congresso.

8° Congresso Mondiale sulla *Cold Fusion* - Lerici (Italia) 21-26 maggio 2000. Ha presentato un contributo scientifico dal titolo: *"Probability of Deuteron-Plasmon Fusion at Room Temperature within Microcracks of Crystalline Lattices with Deuterium Loading"*, che è contenuto nella pubblicazione del Congresso col seguente titolo: "ICCF8 Proceedings of the 8th International Conference on Cold Fusion".

8° Congresso Mondiale Russo sulla **"***Cold Fusion and Nuclear Trasmutatyon' Rccnt-8***"** SOCHI (Russia) 3-11 ottobre 2000, organizzato da: "Russian Academy of Sciences", "Russian Physycal Society", "Nuclear Society of Russia", "Russian Mendeleev Chemical Society", "Moscow Lomonosov State University", "Russian Peoples Friendship University", "State Technical University (Madi)", "Research Institute of High Temperatures" e "Russian Committee on The Problems of Ball Lightning". Ha presentato un contributo scientifico dal titolo: *"Theoretical Hypothesis on the Correlation between the Probability of Fusion on the Surface and within Microcracks of a Deuterium Loaded Crystalline Lattice at Room Temperature"*, che è contenuto nella pubblicazione del Congresso col seguente titolo: "Cold Nuclear Transmutations - Proceedings of the 8th Russian Conference on Cold Nuclear Transmutations of Chemical Elements".

86° Congresso Nazionale Società Italiana di Fisica" – Palermo 6-11 ottobre del 2000. Ha presentato un contributo scientifico dal titolo: *"Studio della Reazione di Fusione in una Microfrattura a Temperattura Variabile"*, che è contenuto nella pubblicazione del Congresso col seguente titolo: "LXXXVI Congresso Nazionale Società Italiana di Fisica".

9° Congresso Russo sulla Fusione Fredda e Trasmutazione Nucleare" SOCHI (Russia) dal 30 settembre al 7 ottobre 2001 organizzato da: "Russian Academy of Sciences", "Russian Physycal Society", "Nuclear Society of Russia", "Russian Mendeleev Chemical Society", "Moscow Lomonosov State University", "Russian Peoples Friendship University", "State Technical University (Madi)", "Research Institute of High Temperatures" e "Russian Committee on The Problems of Ball Lightning". Ha presentato un contributo scientifico dal titolo: *"Cold Fusion Reaction within a Microcrack With Cfc Lattice Structure at Low Energy and Study of the Non Semi-Classic Tunneling Effect",* che è contenuto nella pubblicazione del Congresso col seguente titolo: "Cold Nuclear Transmutations - Proceedings of the 9-th Russian Conference on Cold Nuclear Transmutations of Chemical Elements".

Conferenza Scientifica - Collesano (PA) 31 ottobre 2001 sulla fusione fredda dal titolo: *"Ipotesi Teorica sul Fenomeno d'Interazione Plasmone-Deuterone dentro*

dn Micro-Crack a Temperatura non costante e Calcolo dell'Effetto Tunneling con Energia Diversa da Costante".

9° Congresso Mondiale sulla "*Cold Fusion*" - Beijing (Cina) 19-24 maggio 2002. Ha presentato un contributo scientifico dal titolo: *"Theoretical Model on the Relationship Between Low Energies in the Probability of Deuterium Nuclei Cold Fusion"*, che è contenuto nella pubblicazione del Congresso.

La rivista scientifica **"***Infinite Energy***"**, vol.08, n.46, 2002, pp.63-70, ha pubblicato un articolo dal titolo: "Comparison Between two Theoretical Models for Deuteron-Plasmon Interaction with Enhanced Tunneling Effect".

11th International Conference on Emerging Nuclear Energy System - Albuquerque, New Mexico, USA, dal 29 settembre al 4 ottobre 2002. Ha presentato un contributo scientifico dal titolo: **"***Theoretical Analysis of the Cold Fusion Process"*, che è contenuto nella pubblicazione del Congresso col seguente titolo: "ICENES 2002 – Proceedings".

2003 International Congress on Advances in Nuclear Power Plants - ICAPP '03" - Cordoba (Spagna), 4-7 maggio 2003. Ha presentato un contributo scientifico dal titolo: **"***Calculation Of Deuteron Interactions within Microcracks of a* D_2 *Loaded Crystalline Lattice at Room Temperature"*, che è contenuto nei "Proceedings" del Congresso di prossima pubblicazione.

10th International Conference on Cold Fusion (ICCF-10) - Boston negli USA, 24-29 agosto 2003. Ha presentato un contributo scientifico dal titolo: *"Fusion Reaction within a Microcrack with Cfc Lattice Structure at Low Energy and Study of the non Semi-Classic Tunneling Effect"*, che sarà contenuto nella pubblicazione del Congresso.

Dipartimento di Fisica di Catania - 4 settembre 2003 ha promosso un Seminario sulla "Interazione dentro ai solidi" dal titolo: "*L'interazione dentro i Reticoli in Funzione delle Condizioni Termodina-Miche e Studio Dell'effetto Tunneling"*.

11th Russian Conference on Cold Nuclear Transmutation of Chemical Elements and Ball-Lightning (RCCNT&BL-11)" - Sochi (Russia) dal 28 settembre al 05 ottobre 2003. Ha presentato un contributo scientifico dal titolo: "*Correlation Between the Probability of Fusion on the Lattice Surface and within Microcracks at Room Temperature and Low Energie"*, che sarà contenuto nella pubblicazione del Congresso.

Many Body System 2003 (MBS 2003) - Catania (Italia), presso il Dipartimento di Fisica 6-8 ottobre 2003. Ha presentato un contributo scientifico dal titolo: *"Qed Coherence in Cold Fusion"*.

5th Asti Workshop on Anomalies in Hydrogen/Deuterium loaded Metals - Asti (Italia) 19-21 marzo 2004. Ha presentato un contributo scientifico dal titolo: *"Coherence Qed in Cold Fusion whitin Microcracks of a D2o Loaded Lattice Deformation at Romm Temperature"*.

AUGUSTO SCALIA
Università di Catania - Dipartimento di Fisica ed Astronomia

Pubblicazioni

1. *The interaction time for heavy-ion fusion,* Il Nuovo Cimento A 92, 210 (1086)
2. *The heavy-ion fusion in terms of the Rutherford trajectories*, Il Nuovo Cimento A 94, 88 (1986)
3. *The fusion time by using the "elastic" model,* Proceedings of the Symposium on "The many facets of heavy-ion fusion reactions", Argonne National Laboratory, USA (1986)
4. *A simple approach to sub barrier fusion*, Proceedings of the "Secondo Convegno su Problemi di Fisica Nucleare Teorica", Cortona, Italy (1987)
5. *The sub barrier fusion with the elastic model*, Il Nuovo Cimento A 98, 517 (1987)
6. *A Energy dependent nucleus-nucleus potential from the elastic model*, Il Nuovo Cimento A 98, 589 (1987)
7. *Sub barrier fusion using the Rutherford scattering*, Proceedings of the Texas A&M Symposium on "Hot Nuclei", College Station, Texas (1987)
8. *Heavy-ion fusion in nuclear astrophysics*, Memorie della Società Astronomica Italiana (Journal of the Italian Astronomical Society), Vol. 60, n. 1-2 (1989)
9. *The reaction rate in nuclear fusion,* Il Nuovo Cimento A 100 (1988)
10. *A new approach to heavy-ion fusion*, Il Nuovo Cimento A 101, 781 (1989)
11. *The nuclear fusion for the reactions* $^{2}H(d,n)\ ^{3}He$, $^{2}H(d,p)\ ^{3}H$, Il Nuovo Cimento A 101, 795 (1989)
12. *The nuclear fusion for the reactions* $^{2}H(d,n)\ ^{3}He$, $^{2}H(d,p)\ ^{3}H$ *at low energy*, Il Nuovo Cimento A 102, ottobre (1989)
13. *The nuclear fusion for the reaction* $^{3}H(d,n)^{4}$ *at very low energy*, Il Nuovo Cimento A 102, ottobre (1989)
14. *A new approach to heavy-ion fusion II: systematic comparison with experimental data*, in coll. con R. GIORGANO, S. SAMBATARO, F. PORTO, P. FIGUERA, S. PIRRONE, Il Nuovo Cimento A 103, 47 (1990)
15. *The extended elastic model applied to the reaction* $^{3}He(d,\gamma)^{7}Be$, Il Nuovo Cimento A 103, 213 (1990)

16. *The extended elastic model applied to the reaction $^3He(^3He, 2p)\ ^4He$*, Il Nuovo Cimento A 103, 85 (1990)

17. T*he nuclear fusion for the reaction $^3He(d,p)\ ^4He$,* Il Nuovo Cimento A 103, 255 (1990)

18. *The extended elastic model II applied to the reaction $^2H\ (\alpha, \gamma)^6Li$.* Il Nuovo Cimento A 103, 927 (1990)

19. *The reaction rate at T ~300 °K for the reactions $^2H\ (p, \gamma)^3He$, $^2H\ (d,p)^3H$, $^2H\ (d,n)^3He$, $^3H\ (d,n)^4He$, $^3He\ (d,p)^4He$, $^2H\ (\alpha, \gamma)^6Li$, $^3He\ (^3He, 2p)^4He$, $^3H\ (\alpha, \gamma)^7Be$*, Il Nuovo Cimento A 102, 953 (1989)

20. *A new approach to heavy-ion fusion III: an extension to systems with large mass asymmetry,* in coll. Con R. GIORDANO, S. SAMBATARO, F. PORTO, P. FIGUERA, S. PIRRONE, Il Nuovo Cimento A 103, 269 (1990)

21. *The nuclear fusion for the reaction $^3H\ (d, n)^4He$,* Proc. Int. Nuclear Physics Conference San Paulo, Brasil (1989)

22. *The nuclear fusion for the reaction $^3H\ (\alpha, \gamma)^7Be$*, Il Nuovo Cimento A 103, 1177 (1990)

23. *The nuclear fusion for the reactions $^2H\ (p, \gamma)^3He$, $^2H\ (d,p)^3H$, $^2H\ (d,n)^3He$, $^3H\ (d,n)^4He$, $^3He\ (d,p)^4He$, $^2H\ (\alpha, \gamma)^6Li$, $^3He\ (^3He, 2p)^4He$, $^3H\ (\alpha, \gamma)^7Be$*, Proc. III Convegno su Problemi di Fisica Nucleare Teorica, Cortona, Italy (1989)

24. *The extended elastic model II applied to the reactions $^2H\ (d, n)^3He$, $^2H\ (d, p)^3H$*, in coll. con R. GIORDANO, P. FIGUERA, S. PIRRONE, Il Nuovo Cimento A (brevi note) 103, 465 (1990)

25. *The extended elastic model III: the nuclear fusion for the reaction $^7Li\ (p, \alpha)^4He$*, Il Nuovo Cimento A 104, 563 (1991)

26. *An effective Coulomb potential obtained by using the extended elastic model III for the sub-barrier fusion*, Il Nuovo Cimento A 104, 707 (1991)

27. *An effective strong interaction distance obtained in the framework of the extended elastic model III for the sub-barrier fusion,* Il Nuovo Cimento A 104, 713 (1991)

28. *A simple expression for the cross section factor in nuclear fusion,* Il Nuovo Cimento A 104, 691 (1991)

29. *The sub-barrier fusion as the shadow of elastic scattering*, Il Nuovo Cimento A 104, 1467 (1991)

30. *Interaction time for sub-barrier fusion*, Il Nuovo Cimento A 104, 1441 (1991)

31. *The "shadow" model for the sub-barrier fusion*, Il Nuovo Cimento A 105, 233 (1992)

32. "*Shadow" model for the sub-barrier fusion applied to light systems: determination of the reaction rate*, in coll. con P. FIGUERA, Phys. Rev. C, 46, 2610 (1992)

33. *The cross section factor for the reactions ^2H (d, n)^3He, ^2H (d, p)^3He at very low temperature*, in coll. con P. FIGUERA, Proc. II Annual Conference on cold fusion (ACCF2), Como, Italy (1991)

34. *"Shadow" properties in sub-barrier fusion*, Phys. Rev. C, 47, 1247 (1992)

35. *The fusion process by using the "shadow model"*, Proc. Int. School-Seminar on "Heavy Ion Physics", May 10-15, Dubna, Russia (1993)

36. N*ew sub-barrier nuclear fusion cross section as possible solution of the solar neutrino problem*, in coll. con L. PATERNÒ, Proc. Seventh European Meeting on Solar Physics "Advances in Solar Physics", May 11-15, Catania, Italy (1993). Lectures Notes in Physics, Springer-Verlag, Berlin, Vol. 432, 41 (1994)

37. *"Door" energies in sub-barrier fusion at very low energy*, Il Nuovo Cimento A 106, 855 (1993)

38. *Reply to Comment on "Shadow" model for sub-barrier fusion applied to light system*s, Phys. Rev. C, 49, 284 (1994)

39. *The "Shadow" model for the sub-barrier fusion: determination of the reaction rates in nuclear astrophysics,* Proc. Winter School held at Folgaria, Italy (1994)

40. *S-factor in the framework of the "Shadow" model*, Proc. Third Int. Symposium on Nuclear Astrophysics "Nuclei in the Cosmos", Gran Sasso, Italy (1994)

41. *Fusion process and elastic scattering for the p+12C system at energy below the coulomb barrier,* in coll. con N. ARENA, S. CAVALLARO, R. GIORDANO, Proc. Int. Symposium on "Large-Scale Collective Motion of Atomic Nuclei", Brolo, Italy (1996)

42. *Fusion process and elastic scattering for the system p+12C,* in coll. con N. ARENA, S. CAVALLARO, R. GIORDANO, Proc. Fourth Int. Conference on "Nuclei in the cosmos", Notre Dame, Indiana, USA (1996)

43. *Fusion process and elastic scattering at energies around and below the Coulomb barrier,* in coll. con N. ARENA, S. CAVALLARO, R. GIORDANO,

Proc. VI International School-Seminar on "Heavy Ion Physics", Dubna, Russia (1997)

Contributi a congressi

1. *The fusion time by using the "elastic" model,* Proc. Symposium on The Many Facets of Heavy-ion Fusion Reaction, Argonne National Laboratory, USA (1986)
2. *The fusion time by using the "elastic" model*, Proc. Int. Conference on Heavy-ion Nuclear Collision in the Fermi Energy Domain. Caen, France (1986)
3. *A simple approach to sub barrier fusion*, Proc. Secondo Convegno su Problemi di Fisica Nucleare Teorica, Cortona, Italy (1987) Oral Presentation
4. *Sub barrier fusion using the Retherford scattering,* Proc. Of the Texas A&M Symposium on Hot Nuclei, College Station, Texas, USA (1987)
5. *Heavy-ion fusion in nuclear astrophysics*, XXXII Congresso Nazionale SAIT, Catania, Italy (1988) – Oral Presentation
6. *The sub barrier fusion and the Rutherford scattering*, Proc. Symposium on Heavy Ion Interaction around the Coulomb Barrier, Legnaro, Italy (1988)
7. *The sub barrier fusion in terms of the Rutherford trajectories*, Proc. Third International Conference on Nucleus-Nucleus Collisions, Saint Malo, France (1988) – Poster presentation
8. *The heavy-ion fusion above the barrier described by a new approach*, in coll. con R. Giordano, S. Sambataro, F. Porto, P. Figuera, S. Pirrone, Proc. Int. Nuclear Physics Conference, Sao Paulo, Brasil (1989) – Poster Presentation
9. *The nuclear fusion for the reaction* ^{3}H *(d, n)* ^{4}He*,* Proc. Int. Nuclear Physics Conference, Sao Paulo, Brasil (1989) – Oral Presentation
10. *The reaction rate for light systems bu using the extended elastic model III,* Proc. Fourth International Conference on Nucleus-Nucleus collision, Kanazawa, Japan (1991) – Poster Presentation
11. *The cross section factor for the reaction* ^{2}H *(d, p)* ^{3}H*,* ^{2}H *(d, n)* ^{3}He *at very low temperature*, in coll. con P. FIGUERA, Proc. II Annual Conference on Cold Fusion (ACCF2), Como, Italy (1991) – Oral Presentation
12. *The sub-barrier fusion process obtained as the "shadow" of elastic scattering*, Proc. Int. Nuclear Physics Conference, Weisbaden, Germany (1992)
13. *The fusion process by using the "shadow model"*, Proc. Int. School-Seminar on "Heavy Ion Physics", Dubna, Russia (1993) – Oral Presentation

14. *New sub-barrier nuclear fusion cross section as possible solution of the solar neutrino problem,* in coll. con L. PATERNÒ, Proc. Sventh European Meeting on Solar Physics "Advances in Solar Physics", Catania, Italy (1993) – Oral Presentation

15. *The "Shadow" model for the sub-barrier fusion: determination of the reaction rates in nuclear astrophysics*, Proc. Winter School held at Folgaria, Italy (1994) – Invited Talk

16. *Elastic scattering for the system p+12C at low energy*, in coll. con N. ARENA, S. CAVALLARO, R. GIORDANO, Proc. Fifth Conference on Nucleus-Nucleus Collisions, Taormina, Italy (1994) – Poster Presentation

17. *Nuclear fusion for the system p+^{7}Be at very low energy*, Proc. Fifth Int. Conference on Nucleus.Nucleus Collision, Taormina, Italy (1994)

18. *Nuclear fusion for the reaction ^{3}H+^{4}He at very low energy, Proc. Workshop on "Heavy-ion fusion: exploring the variety of nuclear properties"*, Padova, Italy (1994)

19. *S-factor in the framework of the "Shadow"model,* Proc. Third Int. Symposium on Nuclear Astrophysics "Nuclei In the Cosmos", Gran Sasso, Italy (1994) – Poster Presentation

20. *Nuclear fusion for the system ^{3}H+^{3}He at very low energy,* IV Conference on Selected Topics in Nuclear Structure, Dubna, Russia (1994)

21. *Elastic scattering and fusion process for the system p+^{12}C*, Proc. Int. Nuclear Physics Conference, Beijing, China (1995) – Poster Presentation

22. *Astrophysical S(E)-factor at very low energy: screening effect or nuclear effect?,* Proc. Int. Nuclear Physics Conference, Beijing, China (1995) – Poster Presentation

23. *Astrophysical S(E)-factor at very low energy: screening effect or nuclear effect.* Proc. Joint European and National Astronomy Meeting JENAM-95, Catania, Italy (1995) – Poster Presentation

24. *Astrophysical S(E)-factor at very low energy: screening effect or nuclear effect?*, Proc. Gourth Int. Conference on "Nuclei in the Cosmos" Notre Dame, Indiana, USA (1996) – Oral Presentation

25. F*usion process and elastic scattering at low energy for the p+^{12}C system,* Proc. Fourth Int. Conference on "Nuclei in the Cosmos", Notre Dame, Indiana, USA (1996) – Poster Presentation

26. *Astrophysical S(E)-factor below the Coulomb barrier at very low energy: screening effect or nuclear effect?*, Proc. Int. Symposium on "Large-Scale

Collective Motion of Atomic Nuclei", Brolo, Italy (1996) – Poster Presentation

27. *Fusion process and elastic scattering for the p+^{12}C system at energy below the Coulomb barrier,* Proc. Int. Symposium on "Large-Scale Collective Motion of Atomic Nuclei", Brolo, Italy (1996), in coll. con N. ARENA, S. CAVALLARO, R. GIORDANO - Oral Presentation

28. *Elastic scattering for light systems at very low energy*, Proc. 6th Int. Conference on Nucleus-Nucleus Collisions, Gatlinburg, Tennessee, USA (1997), in coll. con N. ARENA, S. CAVALLARO, R. GIORDANO – Poster Presentation

29. *Fusion process for light systems at very low energies*, Proc. 6th Int. Conference on Nucleus-Nucleus Collisions, Gatlinburg, Tennessee, USA (1997) – Poster Presentation

30. *Fusion process and elastic scattering at energies around and below the Coulomb barrier*, Proc. VI School-Seminar on Heavy Ion Physics, Dubna, Russia (1997) in coll. con N. Arena, S. Cavallaro, R. Giordano – Oral Presentation

31. *A new method to determin the Energy of the Coulomb barrier by using experimental fusion data*, Proc. Second OAK Ridge Symposium on Atomic and Nuclear Astrophysics, OAK Ridge, Tennessee (1997) – Poster Presentation

32. *Phenomenological analysis of nuclear fusion process for systems with 62 ≤ A1 + A2 ≤ 184,* Proc. Int. Nuclear Physics Conference, Paris, France (1998)

33. *Phenomenological analysis of nuclear fusion process for systems with 62 ≤ A1 + A2 ≤ 184*, Proc. Int. Symposium on Nuclear Astrophysics "Nuclei in the Cosmos", Volos, Greece (1998) – Poster Presentation

4.6. Sistemi di pd caricati con D_2 e H_2 gassosi e irradiati da fasci laser

ANTONELLA LORUSSO E VINCENZO NASSISI
Laboratorio di Elettronica Applicata e Strumentazione (LEAS)
Università del Salento - Lecce - Dipartimento di Fisica
INFN - Lecce

Introduzione

L'attività di ricerca sulla fusione fredda, presso il laboratorio LEAS, nasce dopo la pubblicazione dei sorprendenti risultati sperimentali ottenuti da Fleischmann e Pons [1] nel 1989.

Il metodo di caricamento gassoso di D_2 o H_2 dei campioni di Pd è stato preferito al tradizionale caricamento per via elettrolitica in quanto il sistema metallo-gas è più semplice da monitorare e comporta delle condizioni di lavoro più pulite [2].

L'interesse della ricerca del laboratorio LEAS, è stato rivolto principalmente a migliorare le condizioni di caricamento dei sistemi metallo-gas, realizzando specifiche camere in acciaio inox. All'interno di quest'ultime i campioni di Pd venivano sottoposti a caricamento cambiando in maniera opportuna le condizioni di lavoro. I primi risultati ottenuti non furono pubblicati poiché la rilevazione di elementi differenti dal Pd sulla superficie dei campioni sottoposti a caricamento, non furono attribuiti ad eventuali processi di trasmutazione, bensì ad errori commessi durante l'esperimento.

Successivamente si ebbe, invece, la conferma che processi di trasmutazione erano possibili nei sistemi considerati. Allora, il lavoro di ricerca sulla fusione fredda si intensificò e si cercò di migliorare l'assorbimento del gas nel palladio sfruttando il processo di localizzazione per mezzo della radiazione ultravioletta [3]. È noto, infatti, che la radiazione UV favorisce i processi di assorbimento multi-fotonico e la localizzazione del gas all'interno di un reticolo cristallino.

Nella prima fase del nostro lavoro sono stati utilizzati campioni bulk di palladio caricati con D_2 o H_2 e trattati con luce laser, mentre nella seconda parte abbiamo trattato film di palladio di spessore differente [4, 5]. Alla fine del trattamento i campioni sono stati analizzati con le diverse tecniche SEM, EDX, ICP-OES per valutare l'esistenza di "nuovi elementi".

Una possibile spiegazione di questo fenomeno è da attribuirsi a processi di fusione nucleare anche se la temperatura globale del sistema e l'energia termica in gioco sono molto basse. La struttura della materia condensata che si viene a creare nei sistemi metallo-gas è, però, molto complessa e le conseguenze dell'azione collettiva degli atomi coinvolti non è ancora ben conosciuta.

Nei nostri esperimenti l'esistenza di nuovi elementi è stata osservata soltanto in limitate zone della superficie dei campioni somiglianti a grani nei film e a buchi nei bulk. Ed è per mezzo di queste considerazioni che si è portati a chiamare in causa i fenomeni collettivi per giustificare i risultati sperimentali. Essi potrebbero introdurre, infatti, un'alta probabilità d'interazione fra particelle dovute ad oscillazioni coerenti di elettroni metallici (plasmoni) [6].

La probabilità d'interazione potrebbe anche aumentare a causa della distribuzione fononica, che, separando le cariche positive da quelle negative, potrebbe fare in modo di generare elettroni liberi in condizione tale da poter subire un'accelerazione. In questo modo i nuclei possono guadagnare energia cinetica superando così, la barriera coulombiana e conseguentemente generare processi di fusione nucleare [7].

Un'altra spiegazione del fenomeno potrebbe essere dettata dalla deformazione del reticolo cristallino di Pd-D o Pd-H che aumenterebbe la probabilità d'interazione di almeno 2-3 ordini di grandezza rispetto a quella che si avrebbe in caso di fusione sulla superficie del reticolo[8].

Apparato sperimentale e risultati sperimentali

Campioni bulk

I campioni bulk sono dischi di palladio puri (99.95%) caratterizzati da un diametro di 8 mm, spessore 0.5 mm e peso di 0.3 gr. Per effettuare gli esperimenti sono state utilizzate due camere di acciaio inox, di forma cilindrica aventi un diametro interno di 4 cm e lunghezza di 20 cm. Le estremità sono state chiuse attraverso due finestre di quarzo che permettono l'ingresso del fascio laser per l'irraggiamento dei campioni. Ogni camera è connessa ad un sistema da vuoto. Ognuna ha due condutture da 6 mm di diametro per permettere la connessione al sistema da vuoto e per l'immissione del gas. La Fig. 1 mostra un disegno della camera.

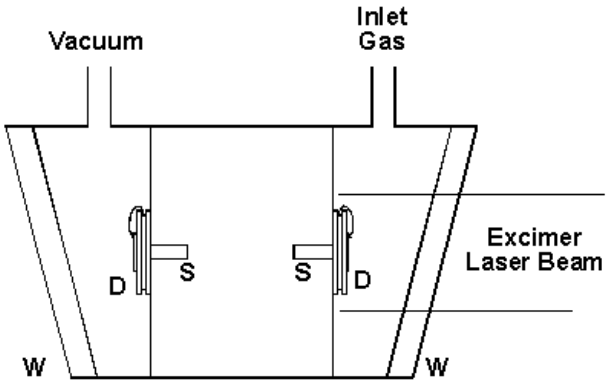

Fig. 1 - Disegno schematico della camera con all'interno i campioni di Pd

I campioni sono stati fissati all'interno della camera attraverso un supporto di alluminio e fissati attraverso una molla di acciaio inox, evitando l'ausilio di paste incollanti in modo da diminuire l'eventuale presenza di inquinanti. Dei due campioni inseriti, solo uno è stato irraggiato col laser permettendo, in questo modo, di confrontare i risultati con quello non irraggiato.

Prima dell'inizio degli esperimenti, le camere sono state accuratamente lavate con acetone e asciugate con azoto. In seguito, esse sono state chiuse e vuotate per mezzo di una pompa turbomolecolare in cascata con una rotativa, ottenendo un vuoto di circa 10^{-5} mbar.

Con il sistema utilizzato si sono effettuate tutte le possibili combinazioni riferite al caricamento di D_2 o H_2 ed al trattamento con laser eseguito ogni 15 giorni dopo l'inserimento del gas all'interno delle camere. La quantità di colpi laser per run è stata di 500 colpi e una densità di energia approssimativamente di 100 mJ/cm^2. I campioni sono stati analizzati dopo 3500 irraggiamenti laser.

Il laser ad eccimero utilizzato operava a 308 nm (energia dei fotoni 4.02 eV) con una durata temporale di 20 ns. È noto, infatti, che l'irraggiamento UV favorisce il processo di assorbimento multifotonico che ha come conseguenza la localizzazione degli atomi del gas all'interno del metallo ospitante. Dopo 115 giorni le camere sono state aperte ed i campioni trattati, insieme ai campioni tenuti in aria come controllo, sono stati analizzati mediante le tecniche SEM, EDX e ICP-OES per lo studio morfologico e chimico della superficie dei campioni. L'analisi morfologica mostra la formazione di piccoli crateri e caverne nei campioni caricati.

Tipo di gas	Irradiato	Elementi trovati	N° di crateri o caverne/mm^2
H_2	No	Al, Si, S, Cl, Fe, Cd, Pt	1200
H_2	Si	Na, Mg, Al, Si, S, Fe, Zn	1600
D_2	Si	Al, Si, S, Cr, Fe, Pt	1600
D_2	No	Mg, Al, Si, Ti	1200

Tabella I - Risultati sperimentali ottenuti con campioni bulk di Pd

La loro concentrazione era di circa 1200 e 1600 per mm^2 rispettivamente per il campione non irradiato e per quello irradiato. Si sono analizzati approssimativamente 20 spot distribuiti su tutto il campione, trovando i seguenti elementi comuni: Al e Si per il campione non trattato con radiazione laser mentre Al, Si, S e Fe per i campioni irraggiati. La tabella 1 riporta il sunto dei risultati ottenuti.

Il fatto di aver trovato per la maggior parte elementi con numero atomico inferiore al Pd, suggerisce che i processi alla base di questo fenomeno potrebbero essere dovuti a processi di fissione nucleare come sostiene la teoria RIFEX [7].

Campioni film

Le misure con i campioni film sono state condotte utilizzando film sottili di Pd depositati su wafer di Si (100) ottenuti mediante evaporazione termica, di superficie di circa 1 cm^2 e dallo spessore pari a 16, 35, 50, 83, 90, 106, 125 e 141 nm. I film di Pd sono stati inseriti nelle camere di acciaio inox con deuterio ad una pressione di 2.4 e 5 bar e sono stati trattati per un periodo di 5 settimane con 500 colpi laser al giorno. La fluenza laser è stata scelta di 25 mJ/cm^2 in modo da non rovinare il film di palladio depositato. Dopo il trattamento, si è osservato che il film perdeva la sua proprietà di essere liscio e formava dei grani (Fig. 2), al cui interno si concentrano un gran numero di elementi inesistenti nei campioni tenuti come controllo. La distribuzione dei grani come pure la formazione di nuovi elementi, cresceva all'aumentare dello spessore del film come si osserva dalla Fig. 3, indipendentemente dalle condizioni di trattamento dei campioni. Con lo spessore di film più elevato si sono trovati i seguenti elementi comuni a tutte le diverse condizioni di trattamento: Na, S, Cl, Ca, Al.

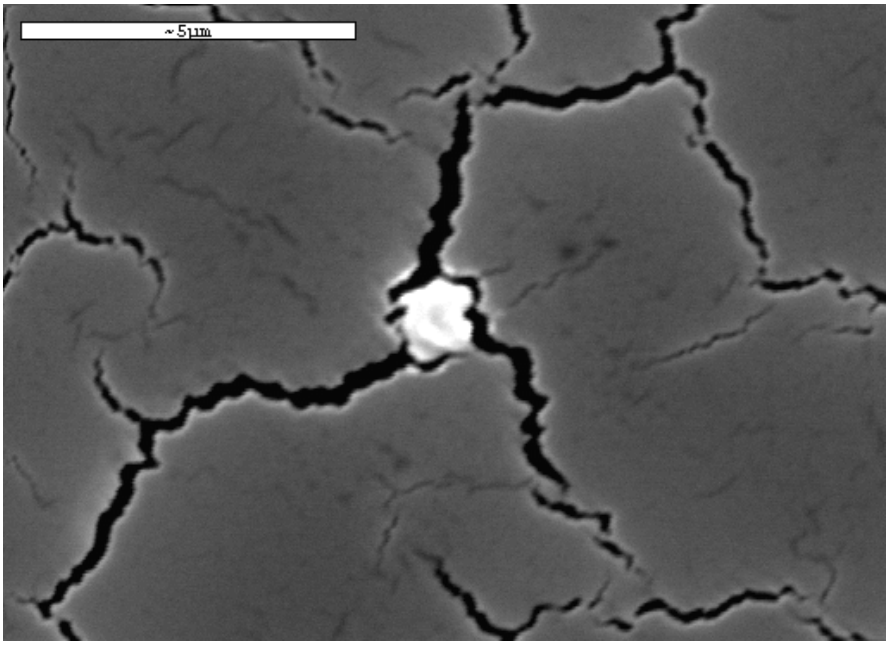

Fig. 2 - Immagine SEM di un grano presente sulla superficie del film di Pd

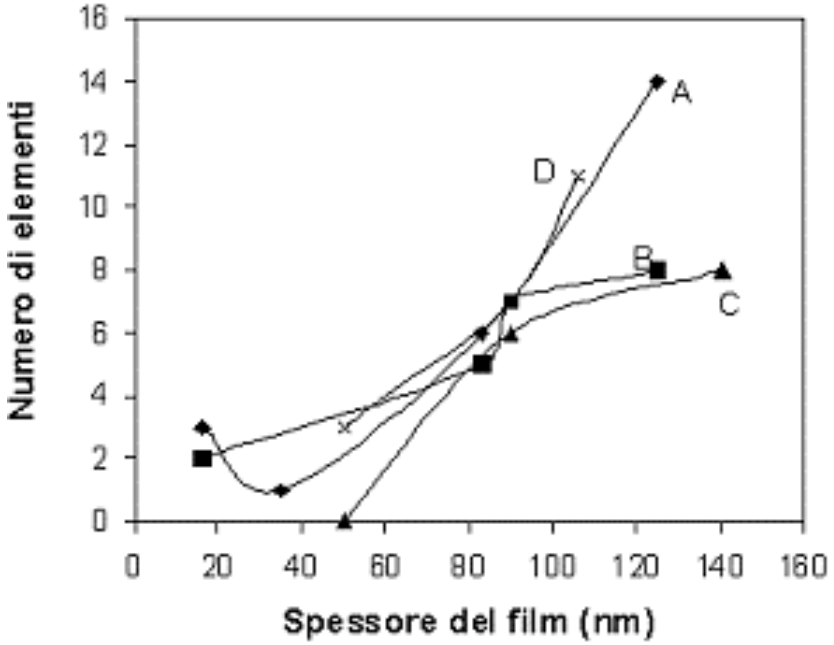

Fig. 3 - Numero di “nuovi elementi” in funzione dello spessore del film di Pd.
Caso A: film caricati con D a 2.4 bar; caso B: film caricati con D a 2.4 bar e irraggiati; caso C: film caricati con D a 5 bar;
caso D: film caricati con D a 5 bar e irraggiati

Misure sull'andamento temporale della pressione

La trasmutazione del Pd in elementi diversi e gli altri effetti dovuti alla fusione fredda, potrebbero essere la conseguenza del fatto che il metallo abbia un alto potere assorbente nei confronti dell'H_2 e del D_2.

Per studiare l'andamento temporale dell'assorbimento del gas, si è utilizzata una camera opportunamente costruita, all'interno della quale si è posto un campione bulk di Pd ad una pressione di H_2 di valore iniziale di circa (1.17±0.05) bar. L'andamento della pressione è riportato in Fig. 4.

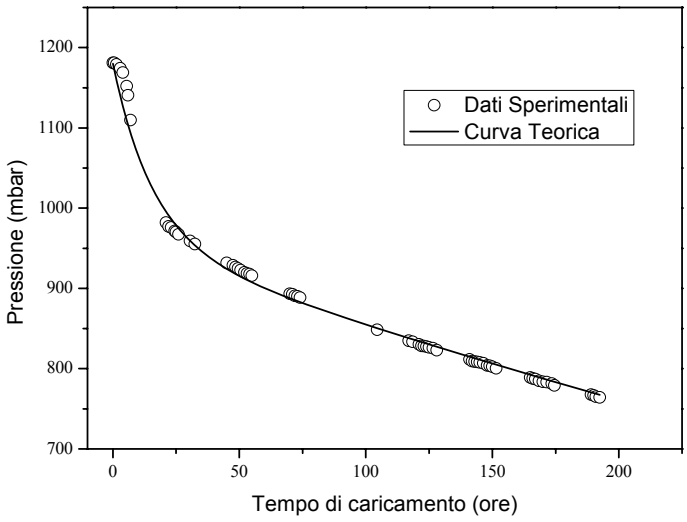

Fig. 4 - Andamento temporale della pressione

Come si può osservare dalla figura, la pressione della camera diminuisce nelle prime 20 ore di assorbimento, indicando un repentino assorbimento del gas. Successivamente vi è una decrescita della pressione più graduale, dipesa probabilmente dal fatto che la diffusività è legata, in questo caso, alla concentrazione del gas all'interno del bulk, come pure al volume del campione.

I dati sperimentali sull'andamento dell'assorbimento in funzione del tempo seguono molto bene la curva teorica data dalla somma di due esponenziali:

$$A\exp(-t/\tau) + B\exp(-t/\beta)$$

dove A e B sono due costanti arbitrarie, mentre τ e β sono costanti di tempo di valori pari a:

A = 235 mbar

τ = 20 ore

B = 940 mbar

β = 960 ore

Riferimenti

1. M. FLEISCHMAN AND S. PONS, *J. Electroanal. Chem*. 261, 301 (1989).
2. S. FOCARDI, R. HABEL, F. PIANTELLI, *Il Nuovo Cimento* 107 A, 163 (1994).
3. V. NASSISI, *Fus. Technol.* 33, 468 (1998)
4. V. NASSISI AND M.L. LONGO, *Fus. Technol*. 31, 247 (2000)
5. T. SUGII, T. ITO AND H. ISHIKAWA, *Appl. Phys. Lett*., 45, 966 (1984)
6. V. VIOLANTE, *Fus. Technol*., 35, 361 (1999)
7. F. FRISONE, *Proc. of VIII International Conference on Cold Fusion, ICCF-8* (2000).
8. G. STOPPINI, *Fus. technol*. 34, 81 (1998)

CAPITOLO 5
RICERCA NELLE UNIVERSITÀ
(Istituti, Dipartimenti e Sezioni INFN)

(A cura di **SERGIO MARTELLUCCI***)*

5.1. Introduzione

In questo Capitolo sono riportati alcuni dei numerosi contributi alla ricerca italiana nel settore della Fusione Fredda svolti presso gli Istituti, i Dipartimenti e le Sezioni dell'INFN ospitate presso le Università italiane.

È motivo di orgoglio per l'Italia ricordare in queste note introduttive che la prima teoria a prevedere l'esistenza di una soglia di innesco per la reazione di fusione e la produzione prevalente di ^{4}He è dovuta proprio a Tullio Bressani dell'Università di Torino, Emilio Del Giudice e Giuliano Preparata (che purtroppo anche lui ci ha lasciati, come F. De Marco, già ricordato nelle note introduttive del Capitolo precedente) dell'Università di Milano, tre geniali fisici italiani che pubblicarono nel 1989 la prima convincente teoria di un possibile processo nucleare nella materia condensata.

Le attività di ricerca in corso presso il Dipartimento di Energetica dell'Università di Roma "La Sapienza" non sono qui riportate perché già citate nei capitoli precedenti. È comunque opportuno ricordare in questa sede che il Ministero dello Sviluppo Economico ha finanziato il progetto di ricerca biennale "Produzione di Eccesso di Potenza in Metalli Deuterati" nell'ambito del quale sono stati anche ottenuti brevetti sull'uso della tecnica di stimolazione laser nella metallurgia dei catodi sviluppati presso ENEA di Frascati.

5.2. Il dialogo tra la teoria della coerenza e la Fusione Fredda

EMILIO DEL GIUDICE
INFN - Milano

Nel marzo 1989 i giornali di tutto il mondo riportarono la notizia dell'annuncio di Martin Fleischmann e Stanley Pons sulla conseguita Fusione Fredda. La Fusione Fredda consiste nel processo per cui a temperatura ambiente i nuclei del deuterio, isotopo pesante dell'idrogeno avente un nucleo composto da un protone ed un neutrone, fondono tra loro producendo energia pari a 24 MeV (milioni di elettronvolt) per fusione, quando siano ospitati all'interno del reticolo cristallino del palladio e la loro concentrazione ecceda la soglia di un nucleo di deuterio per ogni nucleo di palladio.

A quel tempo io lavoravo con Giuliano Preparata a Milano sugli sviluppi della teoria della coerenza. La coerenza è la proprietà di un insieme di oscillatori (sia particelle materiali che modi di un campo) di muoversi con una fase ben definita, come un corpo di ballo.

Un sistema quantistico è costituito da componenti fluttuanti ognuno con una fase propria; quando queste fasi individuali si correlano in una fase di tutto l'insieme abbiamo la coerenza, la quale è mantenuta dal campo di gauge, che, nel caso degli atomi, è il potenziale del campo elettro-magnetico. Le correlazioni sono mantenute da un campo che viaggia con la velocità di fase, che può ben eccedere la velocità della luce, per cui si formano regioni estese (domini di coerenza) al cui interno la dinamica è sincronica, non deve cioè propagarsi in modo causale, come accade tra particelle indipendenti, non correlate in fase.

Queste considerazioni, che allora ci erano già familiari, ci permisero di non restare vittime di quella malattia che recentemente il Premio Nobel Brian Josephson ha efficacemente definito "pathological disbelief", cioè incredulità patologica, la malattia che colpisce chi crede di sapere e in realtà non sa nulla e non sa di non saper nulla.

Di fatto il fenomeno della Fusione Fredda presentava ai teorici una grossa difficoltà concettuale, che fu esposta, meglio di altri dal Premio Nobel Anthony Leggett. Nella Fusione Fredda il processo di fusione nucleare è controllato dalla dinamica del reticolo cristallino ospitante i nuclei di deuterio.

La difficoltà concettuale nasce dal fatto che i tempi tipici della dinamica reticolare, dati dalle teorie convenzionali dello stato solido che prescindono dal concetto di coerenza, sono molto più grandi dei tempi tipici di un processo nucleare; come potrebbe allora una dinamica reticolare influenzare lo svolgimento di un processo nucleare?

Per noi questa difficoltà era superata dalla considerazione del reticolo come dominio di coerenza, caratterizzato da una dinamica sincronica, così come mostrato dall'esempio dell'effetto Mössbauer, che proprio allora noi stavamo studiando assieme a Tullio Bressani, che propose per la Fusione Fredda la nozione di "effetto Mössbauer inverso".

Questo ruolo della dinamica sincronica del dominio di coerenza nel processo della Fusione Fredda implicava anche che l'energia emessa in ogni singola fusione, così come l'impulso del rinculo di ogni nucleo che decade durante l'effetto Mössbauer, appartiene all'intero dominio di coerenza e la sua emissione non dà luogo alla rottura del nucleo prodotto dalla fusione che perciò, nel caso di Fleischmann e Pons, resta elio 4.

Questa predizione ci fu subito chiara e fu formulata nel primo articolo apparso nel maggio 1989 sul *Nuovo Cimento* e nella relazione di Giuliano Preparata al Congresso di Salt Lake City nella primavera 1990.

La teoria della coerenza aveva un altro importante contributo da offrire. Nei domini di coerenza formati dal deuterio la fase è modificata dal potenziale del campo elettromagnetico (il famoso effetto Böhm-Aharonov); siccome la fase è anche legata al potenziale chimico dei domini, è possibile modificare il potenziale chimico (in particolare abbassarlo) attraverso un potenziale elettromagnetico esterno. Giuliano Preparata concepì questo importante risultato nel 1993, quando apprese da Martin Fleischmann gli importanti esperimenti di Alfred Cöhn del 1929-1933 sulla propagazione degli ioni idrogeno nei metalli. Fu scelto come agente il potenziale elettrico; l'applicazione di un potenziale negativo ad un catodo unidimensionale (ad esempio, un filo) avrebbe determinato un abbassamento del potenziale chimico del deuterio tale da determinare un massiccio ingresso di nuclei di deuterio nel catodo in modo da innalzare il rapporto stechiometrico deuterio/palladio fino ai valori ai quali scattava il processo nucleare. Il potenziale applicato al filo produceva ovviamente anche una corrente elettrica, per minimizzare la quale ed il conseguente impatto negativo sulla coerenza, era necessario ridurre il più possibile la sezione trasversa del filo.

Giuliano chiamò spiritosamente questo effetto “Cöhn-Aharonov” (in assonanza con Böhm-Aharonov), ma dopo la sua dipartita il 24 aprile 2000 noi lo abbiamo ribattezzato “effetto Preparata”.

La prospettiva di un caricamento veloce ed efficiente dei catodi di palladio fino ai valori critici per la fusione nucleare apriva una nuova prospettiva agli sviluppi della Fusione Fredda.

Per approfondire questa prospettiva si esplorò la possibilità di una cooperazione con l’industria. Preparata ebbe contatti con alcune grandi industrie, in particolare la Fiat e la Edison, in collaborazione con le quali furono compiute ricerche preliminari. In particolare nella collaborazione con la Edison fu messo a punto un metodo calorimetrico, sulla base di un suggerimento iniziale di Fleischmann, per determinare l’energia rilasciata nel processo della Fusione Fredda.

Questo metodo si fondava sulla calorimetria isoperibolica e consentiva di valutare l’energia rilasciata sulla base della determinazione, ripetuta spesso durante il processo, del coefficiente che correlava l’immissione nel sistema di piccole quantità note di calore e la conseguente variazione di temperatura. In tal modo era possibile superare la difficoltà posta alla calorimetria dal fatto che l’energia prodotta dalla Fusione Fredda era rilasciata in forma radiativa in tempi brevissimi cosicché solo una piccola frazione termalizzava vicino alla sorgente ed era perciò rilevabile da un normale calorimetro. In effetti le determinazioni fondate sul metodo isoperibolico davano valori circa dieci volte maggiori delle determinazioni fatte attraverso la normale calorimetria e questa discrepanza fu all’origine di nuove epidemie di “pathological disbelief”.

Il problema fu poi chiarito dagli esperimenti compiuti all’ENEA di Frascati, dove la misura del numero di nuclei di elio 4 prodotti, fatta con la spettrometria di massa, permise di risalire in modo diretto all’energia prodotta. I calori trovati erano dieci volte più grandi di quelli trovati dal calorimetro, esattamente lo stesso rapporto trovato con la calorimetria isoperibolica, che vide così rivendicata la sua esattezza.

Nel 1996 si aprì un nuovo periodo di ricerca. Fu costituita a Milano una società di ricerca denominata LEDA (Laboratorio di ElettroDinamica Avanzata) i cui soci erano Giuliano Preparata, un imprenditore triestino, il Sig. Zacchigna, la Pirelli Cavi e una società finanziaria facente capo a Massimo Moratti.

Per circa due anni questa società compì una intensa attività di ricerca. Usando l'effetto Preparata per il caricamento dei catodi e la calorimetria isoperibolica come metodo di misura dell'energia prodotta, furono eseguite alcune centinaia di esperimenti, in cui furono provati vari layout. I risultati furono molto incoraggianti a patto di superare i pregiudizi allora ancora vigenti contro la calorimetria isoperibolica. Furono raggiunte densità di energia prodotta dell'ordine di alcuni kilowatt per centimetro cubico di catodo di palladio con un rapporto energia prodotta/energia impiegata dell'ordine di 5÷10.

L'attività di LEDA si avvalse, oltre che del contributo degli abituali collaboratori di Giuliano Preparata, anche dell'apporto di Martin Fleischmann.

L'attività di LEDA ebbe termine alla fine del 1997 per motivi finanziari, ma aprì la strada ad una nuova fase in cui la ricerca si spostò all'ENEA di Frascati. I risultati di LEDA spinsero Massimo Scalia, allora deputato dei Verdi, ad interessare l'allora Direttore Generale dell'ENEA, l'Ing. Renato Strada, per la prosecuzione di questo filone di ricerca nel laboratorio di Frascati, dove la ricerca sulla Fusione Fredda aveva già conseguito importanti risultati grazie al lavoro di Francesco Scaramuzzi, Antonella De Ninno, Antonio Frattolillo, Vittorio Violante ed altri.

Questi sforzi approdarono al lancio di un nuovo programma di ricerca, centrato sul laboratorio di Frascati, che ricevette un nuovo impulso nel 1999, quando Carlo Rubbia diventò Presidente dell'ENEA.

Giuliano Preparata si trasferì a Frascati dove restò fino alla sua morte prematura il 24 aprile 2000. Il gruppo da lui diretto comprendeva, oltre a me, Antonella De Ninno, Antonio Frattolillo ed alcuni giovani laureati e studenti. Dopo la sua morte questo gruppo continuò la ricerca che si concluse nel 2002 con il conseguimento dell'obiettivo proposto, cioè la dimostrazione sperimentale che:

1. l'applicazione di un potenziale elettrico negativo ad un catodo unidimensionale di palladio determina un incremento del caricamento fino a valori del rapporto stechiometrico maggiori di 1, in accordo con gli esperimenti condotti a LEDA;
2. al superamento del valore critico del rapporto stechiometrico, una quantità di calore eccedente l'energia immessa nella cella elettrolitica è rivelata da un calorimetro fondato sull'effetto Peltier; e,

3. in concomitanza con l'apparizione di questo calore anomalo, la cui entità corrisponde ad una potenza di qualche decina di watt per centimetro cubo, appare nello spettrometro di massa un numero di atomi di elio 4 che eccede di molto il fondo ambientale. Questa quantità anomala di elio 4 è la "cenere" della reazione nucleare. L'entità della "cenere" consente di valutare l'energia totale prodotta, che risultò essere di circa 300 watt per centimetro cubo di palladio, cioè minore dei valori trovati a LEDA.

L'esistenza del fenomeno della Fusione Fredda e le sue principali caratteristiche erano perciò conclusivamente dimostrate. Questi risultati furono comunicati nei congressi sulla Fusione Fredda tenuti a Pechino nel 2002 e a Boston nel 2003 e pubblicati nei relativi Proceedings.

Però il tentativo di pubblicare questi risultati su giornali scientifici incontrò la tenace resistenza degli editori, che opposero i più svariati motivi per negare la pubblicazione, dalla mancanza di spazio alla indisponibilità di referees competenti, spingendosi fino a chiedere che l'esperimento fosse ripetuto un gran numero di volte. In realtà anche un solo fatto anomalo richiede una spiegazione ad una mente razionale!

Questi fatti possono essere un buon materiale di studio per comprendere le dinamiche interne della società scientifica e sono state oggetto di un interessante documentario prodotto nel 2006 da Rai News 24 con il titolo "Il Rapporto 41". Il Rapporto 41 è il titolo del rapporto interno dell'ENEA con i nostri risultati.

Soltanto recentemente i nostri risultati sono stati accolti in una pubblicazione ufficiale, soggetta alla "peer review", e curata dall'American Chemical Society che apparirà nell'agosto 2008. Nella bibliografia di questa pubblicazione, che è il Rif. 4 della bibliografia del presente scritto, sono contenuti i riferimenti agli articoli scientifici relativi alle ricerche di cui ho parlato finora.

La conclusione nel 2002 di questa fase della ricerca non ha prodotto ulteriori sviluppi anche a causa della mancanza di finanziamenti sia da parte dell'ENEA che da parte di altri. D'altronde la teoria della coerenza trovava applicazione in altri campi, preminente tra tutti la biologia, che ha attratto l'attenzione di alcuni di noi.

Per tornare alla Fusione Fredda, si può osservare che l'uso di catodi unidimensionali, se ha consentito il raggiungimento veloce di livelli di caricamento tali da innescare il fenomeno nucleare, presenta forti difficoltà poiché il catodo, essendo molto sottile, è fragile e si rompe facilmente in presenza di forti rilasci di calore prodotti dalla fusione nucleare. La rottura del catodo mette fine al fenomeno; negli esperimenti la vita media di un catodo non eccedeva alcuni giorni, per cui la prospettiva di un impiego pratico richiede l'elaborazione di un tipo di catodo molto più robusto, ma tuttavia ancora suscettibile di un facile caricamento usando le risorse offerte dalla teoria della coerenza. Spunti in questa direzione non mancano, ma questo appartiene al futuro.

Bibliografia

Nota: I riferimenti bibliografici agli articoli prodotti nell'attività di ricerca di cui si parla in questo scritto possono essere trovati nelle bibliografie dei quattro testi citati nella bibliografia seguente.

1. G. PREPARATA, *QED Coherence in Matter* – World Scientific, 1995
2. G. PREPARATA, *Dai quark ai cristalli,* Bollati-Boringhieri, 2002
3. R. GERMANO, *Fusione Fredda*, Bibliopolis, 2002. Questo testo contiene una bibliografia completa aggiornata al 1998 (seconda edizione)
4. A. DE NINNO, E. DEL GIUDICE, A. FRATTOLILLO, *Evidence of Coherent Nuclear Reactions in Condensed Matter*, nel volume "Low Energy Nuclear Reactions Sourcebook", American Chemical Society Symposium Series (ed. J. Marwan and S. Krivit), Oxford University Press (agosto 2008) e le pubblicazioni citate nella sua bibliografia

5.3. Un effetto anomalo in sistemi Ni-H tra 200 e 400 °C non di origine chimica o elettrochimica

SERGIO FOCARDI E FRANCESCO PIANTELLI
I.M.O. Bologna e Siena

Introduzione

La presente relazione si riferisce ai risultati sperimentali ottenuti da due gruppi di ricercatori e collaboratori, afferenti al Centro Interuniversitario I.M.O. , di Bologna (Focardi, Campari) e di Siena (Piantelli, Gabbani, Montalbano, Veronesi) che hanno sempre collaborato alle ricerche nel campo LENR. Tutte le referenze citate nel corso di questo testo sono elencate nelle Pubblicazioni, in ordine cronologico, distinte in quattro differenti blocchi a seconda che si tratti di articoli pubblicati su riviste con referee (R), di presentazioni effettuate in Accademie e conferenze nazionali o internazionali (A), di comunicazioni a Congressi nazionali della Società Italiana di Fisica e in altri (S), di tesi di laurea (T).

La ricerca nel campo dei sistemi nichel-idrogeno prese avvio da una osservazione sperimentale effettuata da Francesco Piantelli verso la fine del 1989 su uno strano effetto termico, avvenuto a bassa temperatura in un campione di nichel idrogenato.

Piantelli ne parlò con i suoi amici Focardi e Habel in alcune conversazioni durante il Congresso della SIF svoltosi a Trento nell'ottobre 1990 e insieme decisero di verificare sperimentalmente il fenomeno osservato, ottenuto in un contesto totalmente diverso da quello elettrochimico di Fleischmann, Hawkins e Pons (*J. Electroanal. Chem.*, 261, 301 (1989)) e con ipotesi di lavoro completamente diverse non riconducibili alla CF o a interazioni elettrodeboli (EWI).

Quelle ipotesi iniziali ora sono confortate da alcuni significativi risultati misurati mentre per la CF mancano le specifiche evidenze sperimentali e per la EWI i valori di energia necessari oltre alla violazione di alcune comprovate leggi di conservazione. Gli esperimenti, che erano stati preceduti da diverse osservazioni sperimentali effettuate a Siena dal solo Piantelli, iniziarono a Bologna, Cagliari e Siena, ovviamente condotti nella massima riservatezza, data l'importanza del fenomeno che avrebbe potuto essere utilizzato per trasformazioni energetiche.

In seguito, esperimenti furono eseguiti anche a Colleferro e a Pavia. Comunque la sede in cui si è verificata la massima attività sperimentale fin dall'inizio e anche nel seguito è sempre stata Siena.

La fase iniziale è stata molto rallentata dalla cronica carenza di fondi. E' stato possibile eseguire gli esperimenti per il gentile aiuto fornito da colleghi e amici delle Università di Siena e di Bologna, dell' INFN, dell'ENEA, del CNR di Pisa, del CISE, dell'Accademia Navale e del Comune di Bologna. Così attraverso prestiti e partecipazioni dirette sono state rese disponibili le strumentazioni necessarie per le prime sperimentazioni. La prima fase del lavoro comune si concluse alla fine del 1993 con la pubblicazione dei primi risultati ottenuti (R1).

Si dimostrò in quella occasione che campioni di nichel in atmosfera di idrogeno, dopo avere assorbito una certa quantità di gas, a temperature nella regione 150-400 ^{o}C, riscaldati con potenze tra i 40 e 120 W, potevano, una volta che il sistema era stato perturbato con variazioni di potenza o di pressione, produrre potenze aggiuntive fino a 50 W. In un caso, il sistema, prima di arrestare il processo, fu mantenuto per 24 giorni in condizioni stazionarie in cui, con una potenza di 44 W, venne prodotta una energia complessiva pari a circa 90 MJ.

Questo primo importante risultato era stato preceduto da numerose osservazioni sperimentali (A1). In seguito a questi primi risultati fu possibile coinvolgere alcuni importanti nuovi partners come la FIAT AVIO s.p.a., il Consorzio di imprese T.E.S.C.A. (Bulla, Bergomi e Foglia, Italkero, Ecosystem) e la PROVITA s.r.l..

Alle prime osservazioni sperimentali (A1), effettuate entro il 1994, si sono aggiunte numerose altre misure sistematiche eseguite a Siena (8), a Bologna (2), a Colleferro (1), a Pavia (1) che hanno portato a 21 il complesso delle misure da cui sono state dedotte tutte le osservazioni del fenomeno oggi in nostro possesso.

Le misure relative alla potenza prodotta dal sistema, dettagliatamente descritte in (R2), sono state effettuate, a partire dal 1994, utilizzando la legge di Newton sulla convezione che permette, mediante misure della differenza di temperatura (Tc - Ta) fra la temperatura (Tc) in una determinata zona della superficie della cella e la temperatura ambiente (Ta) rilevata all'interno del laboratorio, di determinare la potenza termica emessa dalla superficie: questa può essere confrontata (grazie ad una calibrazione iniziale effettuata prima che il sistema produca energia) con quella elettrica fornita al sistema.

Il monitoraggio in continua permette inoltre la valutazione delle fluttuazioni e delle variazioni nel comportamento del sistema.

Le temperature sono riferite alla temperatura del laboratorio (T_c-T_a)

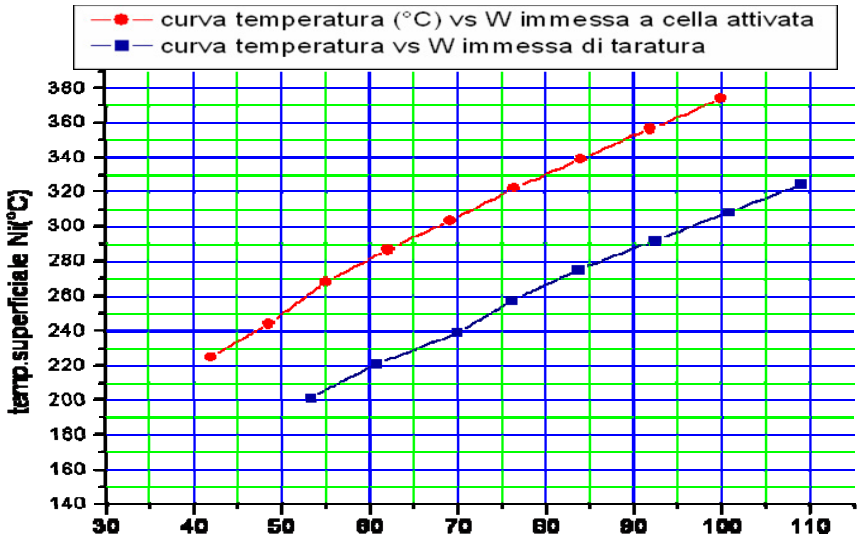

Figura 1 a)

Ripetizione di uno degli esperimenti eseguiti al Dipartimento di Fisica di Siena

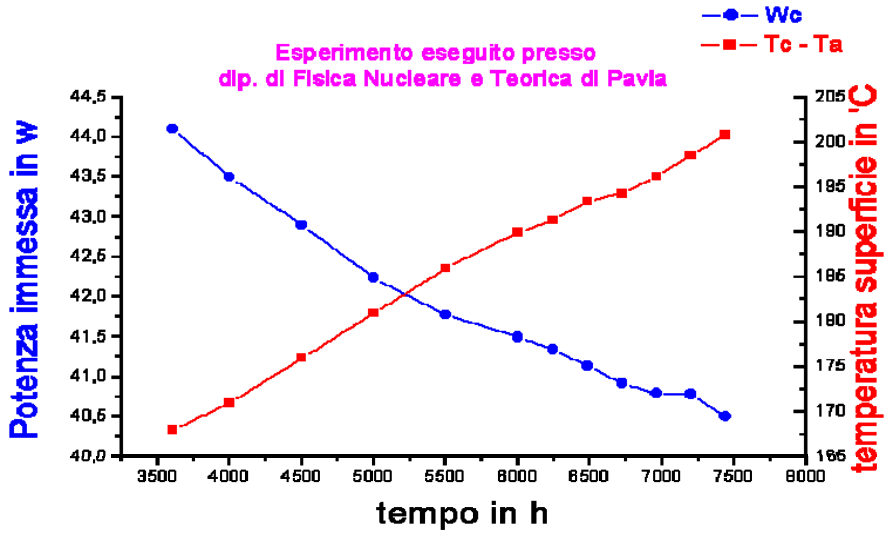

Figura 1 b)

Fig. 1 - Monitoraggio di produzione di energia:

a) curva di taratura in funzione della potenza immessa e curva dopo inizio di produzione di energia
b) produzione di energia con aumento di temperatura e conseguente diminuzione della potenza immessa per effetto dell'aumento della resistenza del riscaldatore di Pt alimentato a tensione continua costante

Per valutare l'energia in produzione è stata utilizzata anche la tecnica della variazione della resistenza con la temperatura sia di un termometro Pt-100 che del riscaldatore di Platino con sistemi di alimentazione in corrente continua a tensione rigorosamente costante; per cui la potenza effettiva prodotta è valutata attraverso la diminuzione della corrente conseguente all'aumento della temperatura provocato dall'innesco del processo di produzione di energia.

Assorbimento di idrogeno nel nichel

I fenomeni osservati di produzione di energia termica da parte del sistema Ni-H si verificano solo dopo che una certa quantità di idrogeno è stata assorbita da parte del nichel. La quantità di idrogeno assorbita non è costante e dipende molto probabilmente dal trattamento subito dal campione metallico. In alcune situazioni non si sono verificati fenomeni di assorbimento, in altre le quantità di idrogeno assorbito sono state particolarmente ridotte, in altre invece sono state assai elevate e si sono svolte in tempi rapidi (A2, A7). Per garantire che la riduzione della pressione dell'idrogeno all'interno della cella sperimentale non fosse dovuta a problemi di tenuta si è sempre lavorato con pressioni dell'idrogeno inferiori alla pressione atmosferica (R1), ricostituendo il valore iniziale via via che la pressione si riduceva a seguito degli assorbimenti.

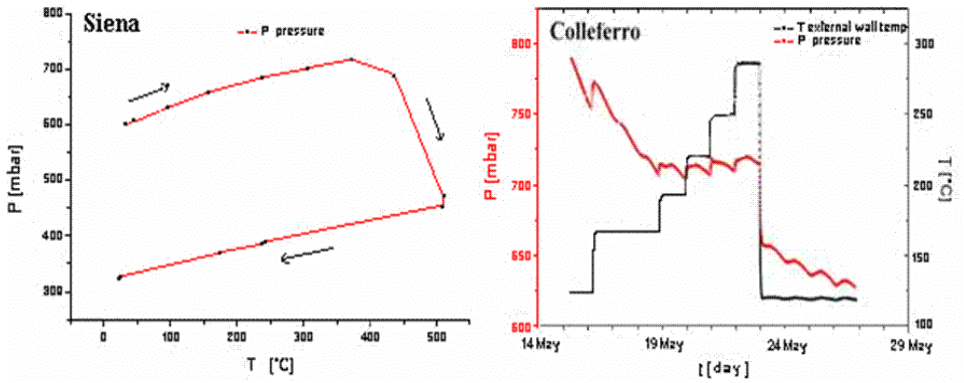

Figura 2 a) Figura 2 b)

Fig. 2

a) assorbimento di H in funzione della temperatura durante un ciclo di riscaldamento e di raffreddamento

b) assorbimento di H in funzione del tempo durante una prova con alimentazione a scalini

Nel caso più rapido avvenuto (A3, T4) l'intero processo di caricamento è durato 80 ore.

In generale l'assorbimento ha richiesto diversi giorni prima di essere completato. Inoltre, fenomeno mai riportato nella letteratura precedente, si è osservata l'esistenza di alcune temperature in corrispondenza delle quali la quantità di gas assorbito (da parte del nichel) nell'unità di tempo assume valori particolarmente elevati (A3). La variabilità dei fenomeni di caricamento ha permesso di concludere che questo primo processo è essenziale affinché si verifichino i fenomeni in seguito osservati. In altri termini, se il metallo non assorbe idrogeno non si verifica alcun effetto anomalo.

La presenza di assorbimento del gas è stata messa in evidenza, oltre che dalla diminuzione di pressione, anche dal fatto che, in questi casi, il diagramma sperimentale pressione-temperatura è in alcuni tratti in totale disaccordo con la legge di Gay-Lussac p(T), mostrando inoltre chiara indicazione di un fenomeno di isteresi (A3).

Produzione di energia da parte del sistema Ni-H

Le prime osservazioni di produzione di energia da parte del sistema furono basate sulle variazioni di temperatura del riscaldatore di platino posto all'interno delle celle sperimentali, inserito in un apparato sperimentale assai semplice, la cui descrizione può essere trovata in (R1). In seguito, anche stimolati da alcune critiche che avanzarono l'ipotesi che l'effetto osservato dipendesse da modifiche della resistenza elettrica del platino prodotte dall'assorbimento di idrogeno da parte del platino stesso, decidemmo di misurare gli effetti osservati dall'esterno delle celle (R2).

In sintesi il metodo, come già indicato, usa la legge di Newton sulla convenzione: si misura la differenza (Tc-Ta) tra la temperatura in una zona della parete esterna del contenitore Tc e la temperatura Ta di un termometro, posto lontano dal contenitore stesso, che misura la temperatura ambiente (Ta) del laboratorio, in funzione della potenza elettrica di alimentazione (curva sperimentale di calibrazione iniziale in assenza di fenomeni anomali). Le valutazioni dell'energia prodotta si ottengono confrontando le curve determinate quando il sistema produce energia con la curva di calibrazione.

I migliori risultati sono stati ottenuti con due celle che hanno prodotto circa 900 MJ e 600 MJ funzionando, prima di essere arrestate, rispettivamente per 278 giorni e per 319 giorni.

Con la prima delle due celle si è ottenuto, nella parte finale dell'esperimento, una produzione di energia con potenza pari a circa 70 W contro una potenza immessa di 29 W (totale 99 W).

Osservazione di eventi di origine nucleare

Nel corso delle sperimentazioni, protrattesi per oltre quindici anni, sono stati osservati diversi fenomeni che testimoniano il verificarsi di reazioni nucleari all'interno dei campioni di Ni in atmosfera di H. Una delle celle sperimentali, quella che produsse circa 900 MJ, mentre stava producendo energia, emise per alcuni giorni neutroni che furono osservati con due differenti tecniche, utilizzando contatori per neutroni a He^3 e la tecnica di attivazione dell'oro (Fig. 3a). Quest'ultima (R3) permise di valutare il flusso di neutroni emessi dalla cella sperimentale in 10 neutroni/cm^2s, pari a 1000 volte la stima del flusso dei neutroni contenuti nella radiazione cosmica.

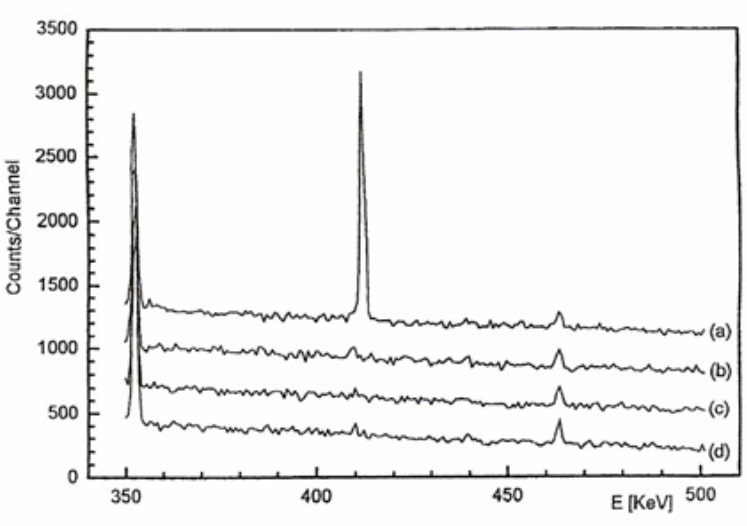

Fig. 3a)

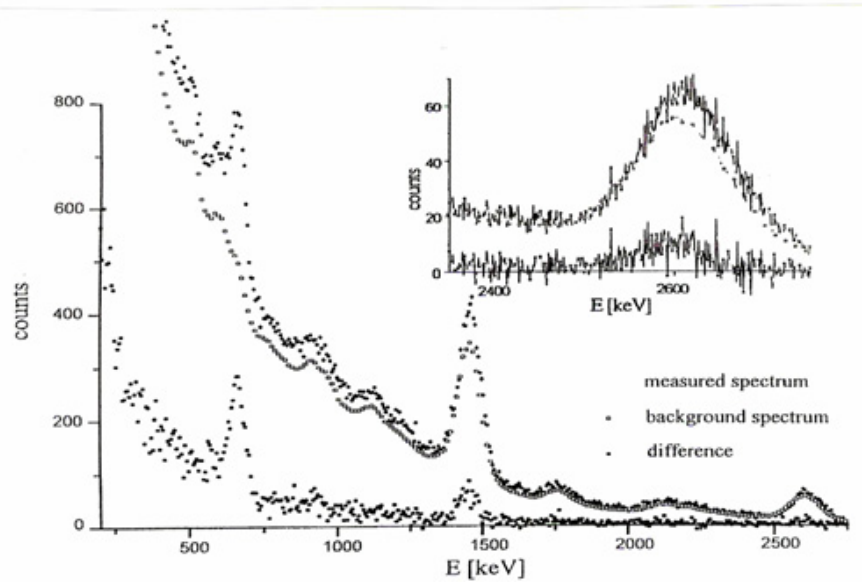
counts
E [keV]
measured spectrum
background spectrum
difference

Fig. 3b)

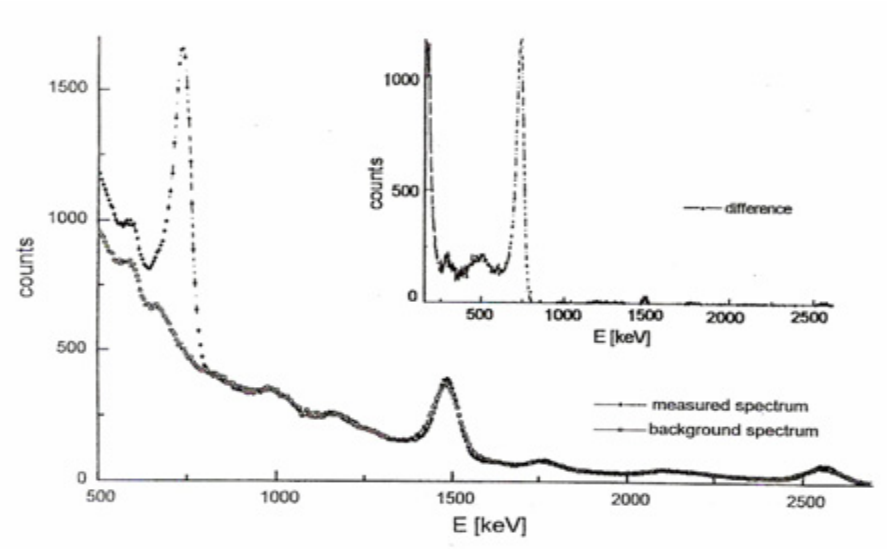
counts
E [keV]
difference
measured spectrum
background spectrum

Fig. 3c)

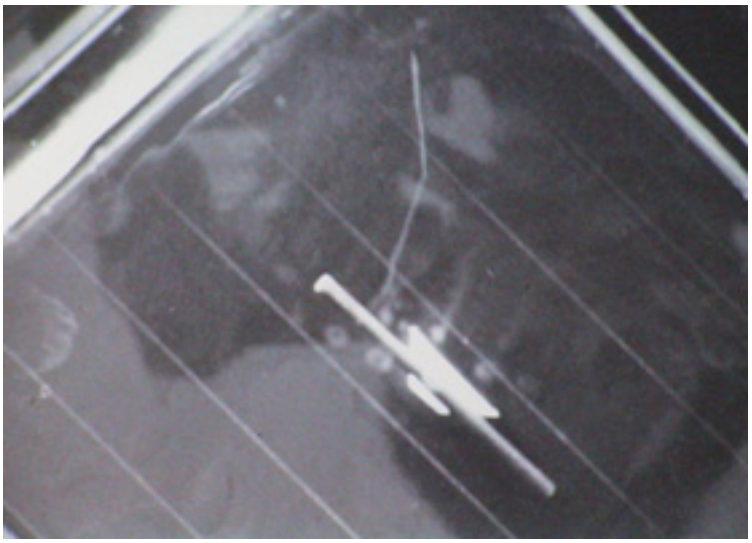

Fig. 3d)

Fig. 3

a) misura del picco da 411 keV dell'Au attivato dai neutroni
b) uno dei tanti spettri di emissione di fotoni rivelati con NaI(Tl)
c) uno dei tanti spettri di emissione di fotoni rivelati con NaI(Tl)
d) foto di particelle pesanti emesse dal rod di Ni dopo l'estrazione dalla cella

In più occasioni è stata osservata, da parte di celle sperimentali diverse, emissione di radiazioni elettromagnetiche con energia di qualche centinaia di keV, messa in evidenza confrontando lo spettro rilevato con contatori a NaI(Tl) (Fig. 3b, 3c) e al Germanio, collocati nelle immediate vicinanze delle celle, con quello della normale radiazione di fondo ambientale del laboratorio (A3).

Il campione di Ni estratto, al termine dell'esperimento, dalla cella, che aveva prodotto circa 900 MJ, lasciato diverse ore a contatto con una emulsione fotografica lasciò un impronta radiografica (T4). Lo stesso campione, collocato successivamente all'interno di una camera a nebbia, permise di fotografare tracce di particelle pesanti (Fig .3d) (A5).

Altri eventi, la cui esistenza può essere stata provocata solo da reazioni di origine nucleare, sono stati osservati, al termine degli esperimenti, utilizzando la tecnica SEM EDAX per l'analisi delle superfici dei campioni utilizzati.

Avendo ben presente il fatto che il sistema da noi utilizzato è inizialmente la coppia gas-metallo costituita da idrogeno e nichel, la presenza sulle superfici di altri elementi, non presenti in nessuno dei componenti della cella, oltre al Ni, non può essere stata prodotta se non da reazioni nucleari.

Come riportato in (A5), in complesso sono stati osservati in notevoli quantità, oltre a Cu e Zn (che hanno numero atomico superiore a quello del Ni), anche F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Cl, Mn, Cr, Fe (Fig. 4).

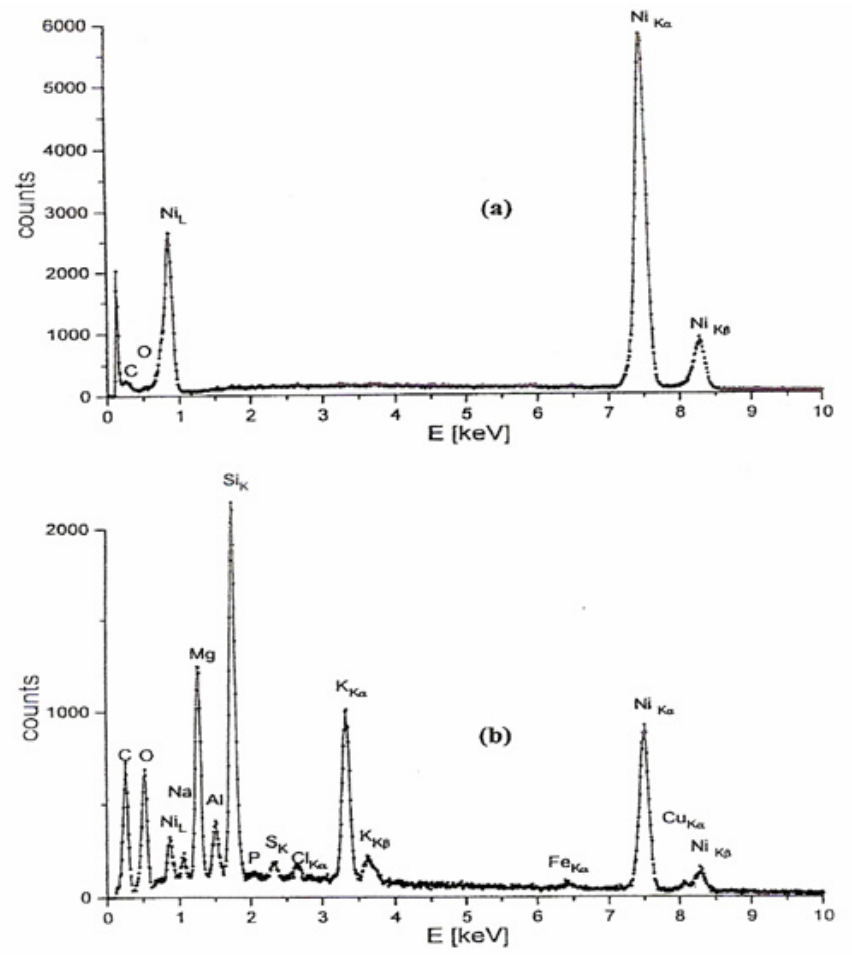

Fig. 4 - Analisi con SEM-EDAX delle superfici

a) spettro rilevato sulla superficie della barretta dove non si è avuto produzione di energia
b) spettro rilevato sulla superficie della barretta in corrispondenza della zona dove si è avuto produzione di energia, rilevata con la misura delle temperature sulla superficie esterna della cella

Il verificarsi di reazioni nucleari negli esperimenti in cui è avvenuta produzione di energia termica da parte del sistema sono testimoniati anche da una accurata osservazione delle superfici del campione di Nichel: si possono infatti rilevare localmente, in alcune posizioni, deformazioni e vere e proprie rotture massive delle superfici assolutamente ingiustificabili sia sulla base della temperatura (dell'ordine dei 400 °C come max.) prodotta dal riscaldatore e misurata, e sia con l'*embrittlement*, anche per la quantità mediamente molto bassa di H assorbito (rapporto $X < 0.08$).

Pubblicazioni

Riviste

(R1) S. FOCARDI, R. HABEL AND F. PIANTELLI, - *Anomalous Heat Production in Ni-H Systems*. Il Nuovo Cimento1994, Vol 107A, pp 163-167

(R2) S. FOCARDI, V. GABBANI, V. MONTALBANO, F. PIANTELLI AND S. VERONESI - *Large excess heat production in Ni-H Systems*. Il Nuovo Cimento 1998, Vol 111A, pp 1233-1242.

(R3) BATTAGLIA, L. DADDI, S. FOCARDI, V. GABBANI, V. MONTALBANO, F. PIANTELLI, P.G. SONA AND S. VERONESI - *Neutron emission in Ni-H Systems*. Il Nuovo Cimento 1999, Vol 112A, pp 921-931.

Proceedings

(A1) F. PIANTELLI, *Atti Accad. Fisiocritici,* Serie XV, Tomo XXII, pag 89 (1993).

(A2) S. FOCARDI, V. GABBANI, V. MONTALBANO,F. PIANTELLI AND S. VERONESI, *Atti Accad. Fisiocritici,* Serie XV, Tomo XV, (1996) pp 109-115.

(A3) S. FOCARDI, V. GABBANI, V. MONTALBANO, F. PIANTELLI AND S. VERONESI - *On the Ni-H System*. Conference Proceeding vol 64, "Asti Workshop on Anomalies in Hydrogen/Deuterium loaded metals", W.J.M.F. Collis (Ed.), SIF Bologna 1999 pp 35-47.

(A4) S. FOCARDI, V. GABBANI, V. MONTALBANO,F. PIANTELLI AND S. VERONESI, *Gamma emission from Ni-H Systems at 420-750 °K* - Atti Accad. Fisiocritici, Serie XV, Tomo XVIII, (1999) pp 109-118

(A5) E. G. CAMPARI, S. FOCARDI, V. GABBANI, V. MONTALBANO, F. PIANTELLI, E. PORCU, E. TOSTI AND S. VERONESI – *Ni-H Systems.* Proceedings of the 8th International Conference on Cold Fusion, Lerici (La Spezia), Italy 21-26 May 2000, pp 69-74.

(A6) E. G. CAMPARI, S. FOCARDI, V. GABBANI, V. MONTALBANO, F. PIANTELLI, S. VERONESI *Thermal Surface effects in Hydrogen and metals* Proceedings Workshop TESMI, A. Lorusso e V. Nassisi eds, Lecce 2002, 35 (2002).

(A7) E. G. CAMPARI, S. FOCARDI, V. GABBANI, V. MONTALBANO, F. PIANTELLI, S. VERONESI *Overview of H-Ni Systems:old experiments and new setup.* Proceedings 5th Asti Workshop on Anomalies in Hydrogen\Deuterium Loaded Metals, Asti 19–21 marzo 2004, to appear on Condensed Matter Nuclear Physics

(A8) S. FOCARDI, V. GABBANI, V. MONTALBANO, F. PIANTELLI, S. VERONESI - *Evidence of electromagnetic radiation from Ni-H Systems,* The 11th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science, Marsiglia 31 ottobre-5 novembre 2004.

(A9) E. G. CAMPARI, S. FOCARDI, V. GABBANI, V. MONTALBANO, F. PIANTELLI, S. VERONESI - *Surface Analysis of hydrogen loaded nickel alloys*, The 11th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science, Marsiglia 31 ottobre-5 novembre 2004.

(A10) E. G. CAMPARI, G. FASANO, S. FOCARDI, S. LORUSSO, V. GABBANI, V. MONTALBANO, F. PIANTELLI, C. STANGHINI, S. VERONESI - *Photon and particle emission, heat production and surface transformation in Ni-H system,* The 11th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science, Marsiglia 31 ottobre-5 novembre 2004

(A11) E. G. CAMPARI, S. FOCARDI, V. GABBANI, V. MONTALBANO, F. PIANTELLI, S. VERONESI – *Overview of H-Ni Systems: evidence di H adsorption, Heat production, Photon and particle emission and surface trasmutations.* -The 6 International Workshop on Anomalies in Hydrogen/Deuterium loaded Metals, Siena 13-16 maggio 2005

(A12) E. G. CAMPARI, S. FOCARDI, V. GABBANI, V. MONTALBANO, F. PIANTELLI, S. VERONESI – *New exsperiments on Ni-H Systems* – Atti Accademia dei Fisiocritici (2005) (in stampa).

(A13) E. G. CAMPARI, S. FOCARDI, V. GABBANI, V. MONTALBANO, F. PIANTELLI, S. VERONESI
Energy production and nuclear reaction in Ni-H Systems -The 7 International Workshop on Anomalies in Hydrogen/Deuterium loaded Metals, Asti 23-27 settembre 2006

Comunicazioni a congressi nazionali e internazionali

(S1) S. FOCARDI, R. HABEL AND F. PIANTELLI -*Evidenza di reazioni nucleari in sistemi nichel-idrogeno a 400 gradi Celsius*, 81^0 Congresso Nazionale della Società Italiana di fisica, Perugia 2-7 ottobre 1995.

(S2) S. FOCARDI, V. GABBANI,R. HABEL, V. MONTALBANO, F. PIANTELLI, G. SOLVETTI, A. TOMBARI, S. VERONESI - *Evidence of Heat Production and Nuclear reactions in Hydrogen Loaded Nickel Rods in Siena Experiments.* – Convegno "Stato della fusione fredda in Italia" – Siena (1995)

(S3) S. FOCARDI, V. GABBANI, V. MONTALBANO, F. PIANTELLI, C. STANGHINI, S. VERONESI - *New Esperimental Evidance of Nuclear Reactions in Ni-H Systems* – LXXXI Congresso nazionale S.I.F. – Verona (1996)

(S4) E. CAMPARI, S. FOCARDI, V. GABBANI, R. HABEL, V. MONTALBANO, F. PIANTELLI, S. VERONESI, E I. USAI - *Studio di sistemi Ni-H nella regione 600-800 K*, 83^0 Congresso Nazionale della Società Italiana di fisica, Como 27-31 ottobre 1997.

(S5) E. CAMPARI, S. FOCARDI, V. GABBANI, V. MONTALBANO, F. PIANTELLI E S. VERONESI - *Emissione di raggi gamma da sistemi Ni-H*, 84^0 Congresso Nazionale della Società Italiana di fisica, Salerno 28 settembre-2 ottobre 1998.

(S6) E. CAMPARI, S. FOCARDI, V. GABBANI, V. MONTALBANO, F. PIANTELLI E S. VERONESI - *Comportamento dei sistemi Ni-H*, 85^0 Congresso Nazionale della Società Italiana di fisica, Pavia 20-24 settembre 1999.

(S7) E. CAMPARI, S. FOCARDI, V. GABBANI, V. MONTALBANO, F. PIANTELLI, E. SALI, C. STANGHINI E S. VERONESI - *Alcuni aspetti delle interazioni Ni-H*, 86^0 Congresso Nazionale della Società Italiana di fisica, Palermo 6-11 ottobre 2000.

(S8) E. CAMPARI, G. FASANO, S. FOCARDI, V. GABBANI, V. MONTALBANO, F. PIANTELLI, C. STANGHINI E S. VERONESI - *Interazioni H-superfici metalliche: effetto FASEC, analisi comparata dei risultati sperimentali*, 90^0 Congresso Nazionale della Società Italiana di fisica, Brescia 20-25 settembre 2004.

(S9) S. FOCARDI E F. PIANTELLI – *Produzione di energia e reazioni nucleari in sistemi Ni-H a 400 ^{0}C*, Conferenza nazionale sulla politica energetica in Italia, Università di Bologna, 18-19 aprile 2005.

Tesi di laurea

(T1) ANTONELLA DI FABRIZIO - *Studio degli effetti termici in sistemi nichel-idrogeno*, Università di Bologna, Anno Accademico 1993-1994, sessione invernale.

(T2) LARA STUPAZZONI - *Misure del flusso di neutroni emessi in processi di fusione fredda*, Università di Bologna, Anno Accademico 1994-1995, sessione autunnale.

(T3) RAFFAELE MOLTI - *Misure di radioattività ambientale*, Università di Bologna, Anno Accademico 1994-1995, terza sessione.

(T4) ALESSANDRO VENTURA - *Un apparato sperimentale per lo studio di sistemi Ni-H*. Università di Bologna, Anno Accademico 1995-1996, sessione estiva.

(T5) ANNA ELISABETTA ZIRI - *Spettro della radiazione gamma con rivelatori al germanio e allo ioduro di sodio*, Università di Bologna, Anno Accademico 1995-1996, sessione autunnale.

(T6) BARBARA MIRRI - *Studio dei sistemi nichel-idrogeno*, Università di Bologna, Anno Accademico 1995-1996, sessione invernale.

(T7) ELENA FIUMANA - *Caratteristiche dei sistemi Ni-H nella regione 300-500* ^{0}C, Università di Bologna, Anno Accademico 1995-1996, sessione invernale.

(T8) GIUSEPPE PETTINATO - *Rivelazione di neutroni (E<10 MeV) con un contatore a scintillazione NaI(Tl)*, Università di Bologna, Anno Accademico 1995-1996, sessione invernale.

(T9) ANNALISA BERNARDINI - *Studio di processi nucleari in sistemi Ni-H*, Università di Bologna, Anno Accademico 1996-1997, seconda sessione.

(T10) BORIS VICINI - *Studio dei fenomeni nei sistemi Ni-H*, Università di Bologna, Anno Accademico 1996-1997, terza sessione.

(T11) PAOLA ZUCCHETTI - *Evidenze di reazioni nucleari in sistemi nichel-idrogeno*, Corso di perfezionamento in fisica, Università di Bologna, Anno Accademico 1996-1997.

(T12) ALESSANDRA FORNACIARI - *Sistemi metallo-idrogeno*, Università di Bologna, Anno Accademico 2000-2001, seconda sessione.

(T13) FEDERICA SALAMI - *Sistemi Pd-idrogeno*, Università di Bologna, Anno Accademico 2000-2001, terza sessione.

(T14) CLAUDIO CERRETO - *Processi nucleari nei sistemi TI/H a temperatura ambiente*, Università di Bologna, Anno Accademico 2004-2005, seconda sessione.

5.4. Raggi X, eccesso di calore e ^{4}He nel sistema Pd/D

DANIELE GOZZI, RICCARDINA CAPUTO, FABIO CELLUCCI, PIERLUIGI CIGNINI, GUIDO GIGLI
Università di Roma "La Sapienza" - Dipartimento di Chimica

MASSIMO TOMELLINI
Università di Roma "Tor Vergata" - Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche

SALVATORE FRULLANI, FRANCO GARIBALDI
Istituto Superiore di Sanità - Laboratorio di Fisica

EVARISTO CISBANI, GUIDO MARIA URCIUOLI
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, sez. Sanità
Istituto Superiore di Sanità - Laboratorio di Fisica

Il titolo del presente contributo si riferisce al risultato conclusivo (1) di circa sette anni di sperimentazione (2-14), dal 1989 al 1996, condotta presso il Dipartimento di Chimica dell'Università di Roma "La Sapienza". L'attività di ricerca fu concentrata sul confinamento elettrochimico di deuterio in catodi di palladio operando simultaneamente su più celle in configurazione toroidale e monitorando in ciascuna di esse:

- il bilancio termico mediante calorimetria a flusso;
- il contenuto di trizio nell'elettrolita;
- il contenuto di trizio nell'acqua pesante ottenuta dalla ricombinazione catalizzata dei gas di elettrolisi;
- il bilancio elettrochimico di D_2O (volume di D_2O consumata *vs.* $\frac{v_{D_2O}}{2F}\int_0^t Idt$, dove I e v_{D_2O} sono rispettivamente l'intensità di corrente ed il volume molare di D_2O);
- il contenuto di ^{4}He nei gas di elettrolisi;
- il contenuto di ^{4}He nel catodo (metodo distruttivo ex-situ); e,
- l'emissione di radiazioni mediante lastra fotografica ad elevata sensibilità.

Il sistema toroidale era contenuto in un rivelatore di neutroni (14) costituito da 60 tubi con ^{3}He a 6 Atm. L'efficienza dell'intero sistema calibrato con sorgente di ^{252}Cf era 22%.

Sin dall'inizio, la parte della rivelazione nucleare degli esperimenti, ad eccezione della misura di ^{4}He, fu gestita da ricercatori del Laboratorio di Fisica dell'Istituto Superiore di Sanità e della sezione Sanità dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare mentre le competenze chimiche, elettrochimiche, di scienza dei materiali, calorimetriche ecc. furono trovate nell'ambito del Dipartimento di Chimica dell'Università di Roma "La Sapienza".

Qui di seguito si riportano l'abstract e le conclusioni del lavoro conclusivo (1), pubblicato nel 1997 sul *Journal of Electroanalytical Chemistry* e ripubblicato dalla medesima rivista nel 1998, come *erratum* a causa di errori di composizione delle figure nel testo prodotti dalla Elsevier Science, anch'esse qui riprodotte per comodità del lettore.

Abstract

The energy balance between heat excess and ^{4}He in the gas phase has been found to be reasonably satisfied even if the low levels of ^{4}He do not give the necessary confidence to state definitely that we are dealing with the fusion of deuterons to give ^{4}He.

In the melted cathode, the data of which are reported, no ^{4}He was found at the achieved sensitivity. X-ray film, positioned at 50 mm from the cell, roughly gave the image of the cathode through spots.

Extended considerations have been made to explain this evidence on the basis of the bundle nature of the cathode.

From these considerations, the energy of the radiation and the total energy associated to it have been estimated as 89 keV and 12 kJ, respectively. This value is ≈ 0.5% of the energy measured by calorimetry in the same interval of time. The highest values of energy and excess power are 8.3 MJ and 10 W, respectively.

Conclusions

The results show an overall picture with its own internal consistency: ^{4}He is produced at the surface of the wires, but only the innermost wires in the bundle are active (see the discussion about the spots on X-ray film) and it is not found inside Pd.

On the other hand, the low levels of ^{4}He do not give the necessary confidence to state definitely that we are dealing with the fusion of deuterons to give ^{4}He.

No evidence of contamination by atmospheric ^{4}He was found by the detection of $^{20}Ne^{2+}$, and the energy balance seems quite well satisfied when ^{4}He, expected by the measured heat excess, is compared with ^{4}He found.

This result markedly overcomes the stagnant situation in the understanding of cold fusion phenomena, where heat excess measured was never counterbalanced by a proper number of nuclear particles, such as neutrons, as expected by the d, d fusion in plasma. Moreover, the exposure of the X-ray film is a clear-cut proof (very simple experimental device for which errors of measurement and/or of procedure, as well as artefacts cannot be invoked) that a nuclear phenomenon is at work.

We believe that the radiation detected has to be searched for among the stable isotopes of Pd or among its impurities having intense nuclear transitions close to the energy found. Work is in progress to check this route.

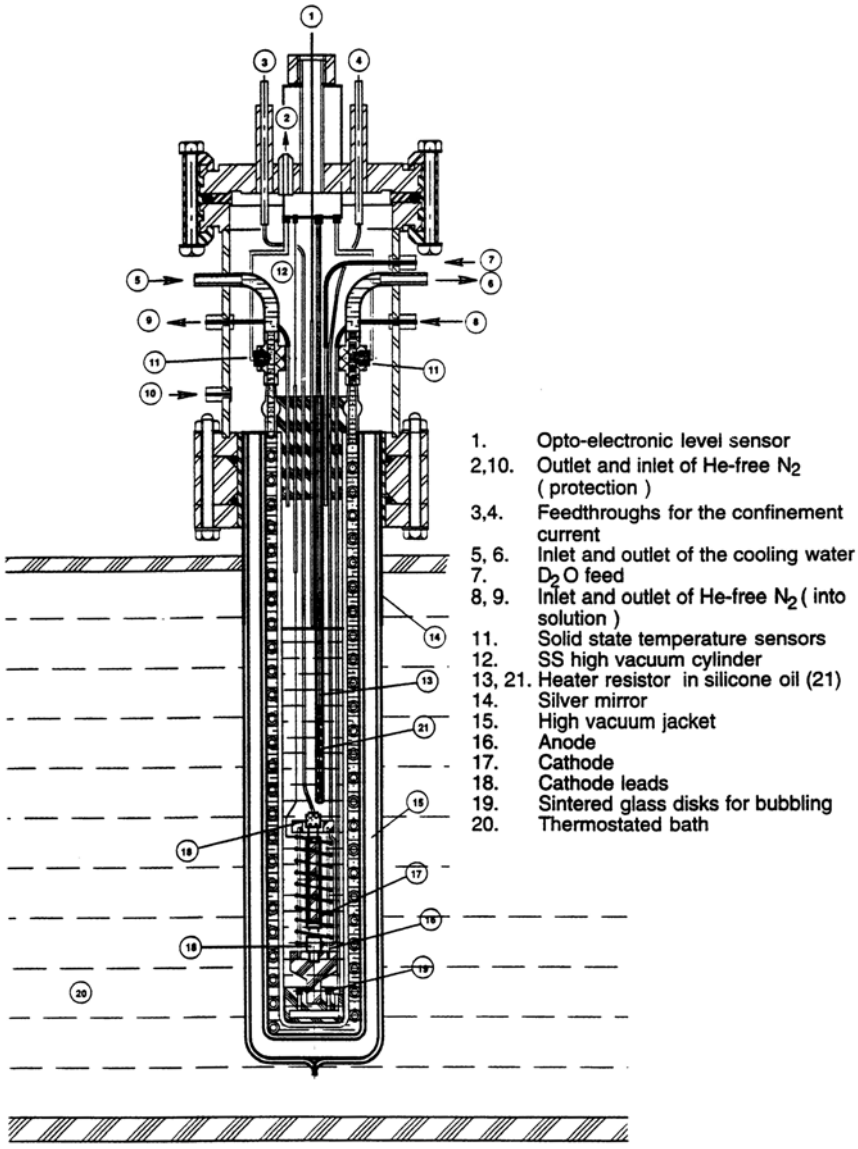
1. Opto-electronic level sensor
2,10. Outlet and inlet of He-free N_2 (protection)
3,4. Feedthroughs for the confinement current
5, 6. Inlet and outlet of the cooling water
7. D_2O feed
8, 9. Inlet and outlet of He-free N_2 (into solution)
11. Solid state temperature sensors
12. SS high vacuum cylinder
13, 21. Heater resistor in silicone oil (21)
14. Silver mirror
15. High vacuum jacket
16. Anode
17. Cathode
18. Cathode leads
19. Sintered glass disks for bubbling
20. Thermostated bath

Fig. 1 - Cella per il confinamento elettrochimico di deuterio in palladio. La cella è un calorimetro a flusso e consente il prelievo dei gas di elettrolisi per mezzo di una corrente di N_2 esente da ^4He. È progettata per evitare la contaminazione di aria. È dotata di un riscaldatore interno per la calibrazione calorimetra. Il rifornimento di D_2O avviene per mezzo di un sensore di livello opto-elettronico

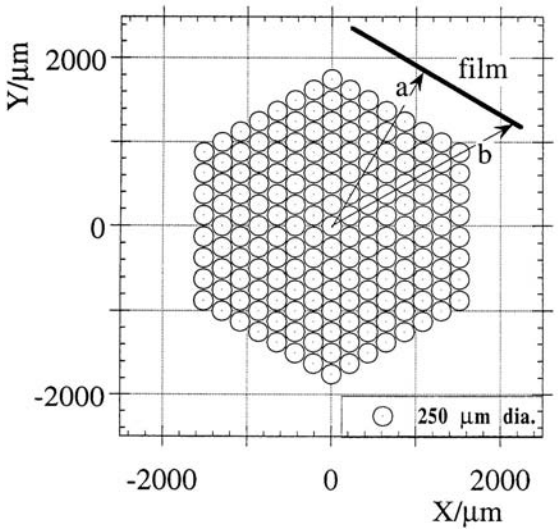

Fig. 2 - Sezione trasversale di un catodo a struttura dundle ideale costituito da 169 fili di Pd di 250 µm di diametro. I catodi reali utilizzati erano costituiti da 150 fili

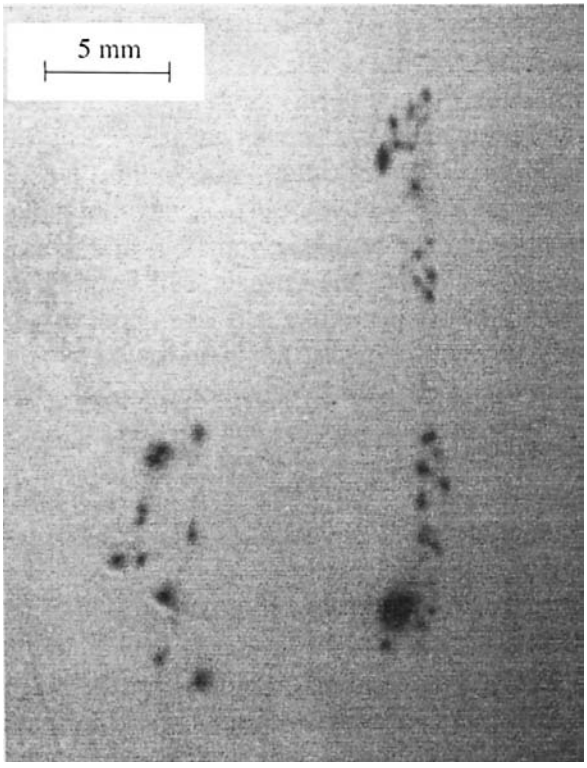

Fig. 3 – X-ray film ottenuto dopo un'esposizione di una settimana davanti la cella #4

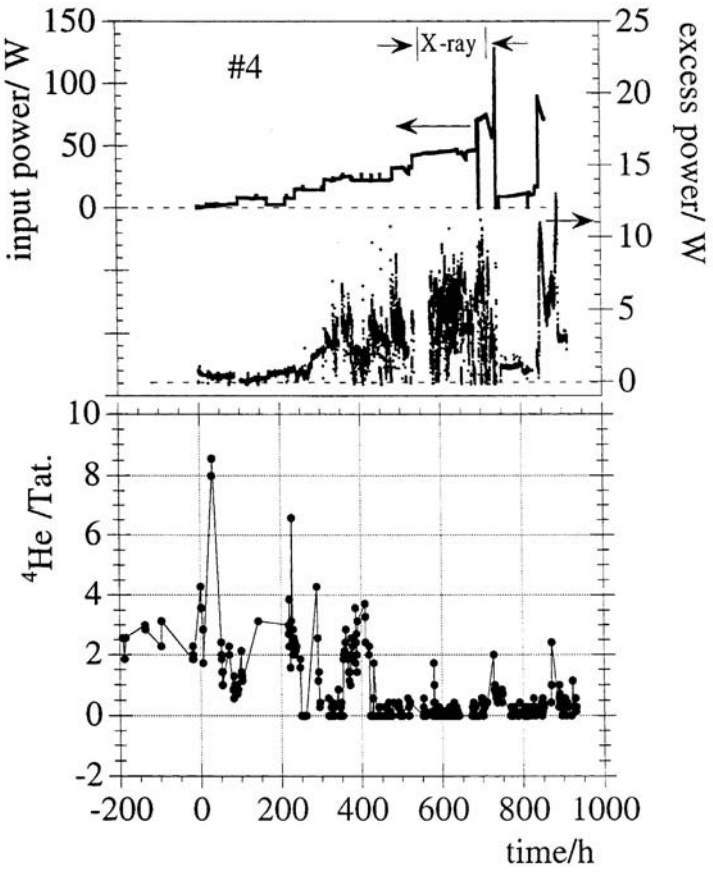

Fig. 4 - Cella #4. Catodo costituito da un bundle di fili di Pd di 250 μm di diametro. Pannello superiore:eccesso di potenza termica (scala di destra) e potenza totale immessa nella cella (scala di sinistra).
Pannello inferiore: contenuto di ^{4}He nei gas di elettrolisi espresso in teratomi. Ciascun punto corrisponde alla quantità assoluta di ^{4}He nel volume di campionamento di 150 cm^3

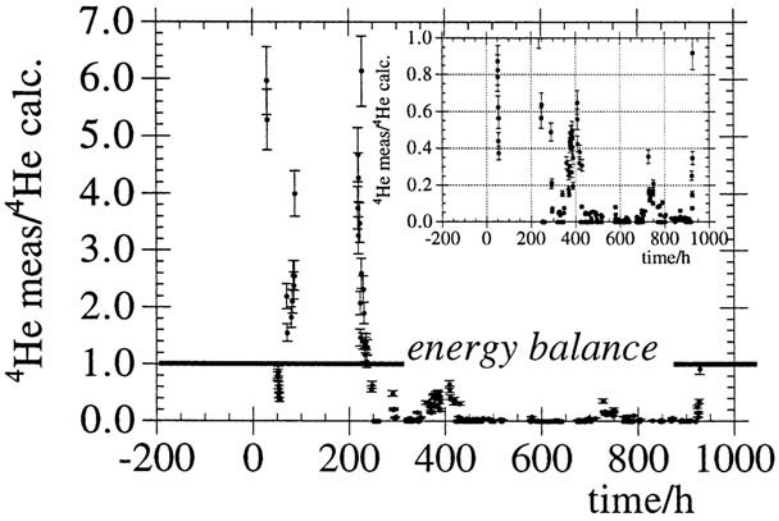

Fig. 5 - Andamento temporale del rapporto tra ^{4}He misurato e calcolato (in base all'eccesso di calore). L'inserto è l'ingrandimento dei valori compresi tra 0 e 1. Valori >1 implicano che o ^{4}He misurato è di origine atmosferica (nel presente esperimento la causa potrebbe essere un incompleto lavaggio dell'intera linea) o l'eccesso di calore è stato sottostimato. Si può osservare che da t ≥ 220 h e fino alla fine dell'esperimento il valore del rapporto è stabilmente <1, molti punti sono >0 e prossimi al bilancio di energia

Riferimenti

1) D. GOZZI, F. CELLUCCI, P.L. CIGNINI, G. GIGLI, M. TOMELLINI, E. CISBANI, S. FRULLANI,, G.M. URCIUOLI (1998) X-ray, *Heat Excess and ^{4}He in the Pd/D System*, J. Electroanal. Chem, *-erratum-* Vol. 452, pp. 251-271. [435(1-2) (1997) 113-136].

2) D. GOZZI, P.L. CIGNINI, L. PETRUCCI, M. TOMELLINI, G. DE MARIA, S. FRULLANI, F. GARIBALDI, F. GHIO, M. JODICE, *Characterization of one Single Outbreak of Possible "Cold Fusion" Events occurring in Palladium Heavy Water Electrolysis*, Conference Proceedings vol. 24 "Understanding Cold Fusion Phenomena", R.A. Ricci, E. Sindoni, F. De Marco (Eds.), Società Italiana di Fisica, Bologna 1989.

3) D. GOZZI, P.L. CIGNINI, L. PETRUCCI, M. TOMELLINI, G. DE MARIA, S. FRULLANI, F. GARIBALDI, F. GHIO, M. JODICE (1990) *Evidences for Associated Heat Generation and Nuclear Release in Palladium Heavy Water Electrolysis*, Nuovo Cimento Vol. 103A, pp. 143-154.

4) M. TOMELLINI, D. GOZZI (1990) *On the Possibility for Local Oversaturation of Deuterium in Pd*, J. Mat.Science Lett. Vol. 9, pp. 836-838.

5) D. GOZZI, P.L. CIGNINI, L. PETRUCCI, M. TOMELLINI, G. DE MARIA, S. FRULLANI, F. GARIBALDI, F. GHIO, M. JODICE, E. TABET (1990) *Nuclear and Thermal Effects during Electrolytic Reduction of Deuterium at Palladium Cathode*, J. Fusion Energy, Vol. 9, pp. 241-247.

6) D. GOZZI, P.L. CIGNINI, L. PETRUCCI, M. TOMELLINI, S. FRULLANI, F. GARIBALDI, F. GHIO, M. JODICE, G.M. URCIUOLI, AIP Conference Proceedings 228, *Anomalous Nuclear Effects in Deuterium/Solid Systems*, Provo, UT, October 22-24, 1990 (Eds. S. Jones, F. Scaramuzzi, D.Worledge), American Institute of Physics (New York) 1991, pp. 481-493

7) D. GOZZI, P.L. CIGNINI, M. TOMELLINI, S. FRULLANI, F. GARIBALDI, F. GHIO, M. JODICE, G. M. URCIUOLI, *Multicell Experiments for Searching Time-Related Events in Cold Fusion*, The Science of Cold Fusion, Conference Proceedings vol.33, Società Italiana di Fisica, Bologna (1991) pp. 21-47.

8) D. GOZZI, P.L. CIGNINI, M. TOMELLINI, S. FRULLANI, F. GARIBALDI, F. GHIO, M. JODICE, G. M. URCIUOLI (1992), *Neutron and Tritium Evidences in the Electrolytic Reduction of Deuterium on Palladium Electrodes*, J. Fusion Technology, Vol. 21, pp. 60-74.

9) D. GOZZI, P.L. CIGNINI, R. CAPUTO, M. TOMELLINI, G. BALDUCCI, G. GIGLI, E. CISBANI, S. FRULLANI, F. GARIBALDI, M. JODICE, G. M. URCIUOLI, *Experiments with Global Detection of Cold Fusion Byproducts*, in Frontiers of Cold Fusion, Edited by H. Ikegami, Frontiers Science Series no.4, Universal Academy Press Inc., Tokyo (1993) 155-164.

10) D. GOZZI, P.L. CIGNINI, R. CAPUTO, M. TOMELLINI, G. BALDUCCI, G. GIGLI, E. CISBANI, S. FRULLANI, F. GARIBALDI, M. JODICE, G. M. URCIUOLI, *Excess Heat And Nuclear Product Measurements in Cold Fusion Electrochemical Cells,* EPRI Report TR-104188-V1, Palo Alto, CA, vol. 1, p. 2-1/2-31 (1994).

11) D. GOZZI, P.L. CIGNINI, R. CAPUTO, M. TOMELLINI, G. BALDUCCI, G. GIGLI, E. CISBANI, S. FRULLANI, F. GARIBALDI, M. JODICE, G. M. URCIUOLI, *Helium-4 Quantitative Measurements in the Gas Phase of Cold Fusion Electrochemical Cells,* EPRI Report TR -104188-V1, Palo Alto, CA, vol. 1, p. 6-1/6-19 (1994).

12) D. GOZZI, P.L. CIGNINI, R. CAPUTO, M. TOMELLINI, G. BALDUCCI, G. GIGLI, E. CISBANI, S. FRULLANI, F. GARIBALDI, M. JODICE, G. M. URCIUOLI (1995), *Excess Heat And Nuclear Byproduct Measurements In Electrochemical Confinement of Deuterium in Palladium,* J. Electroanal. Chem., Vol. 380, pp. 91-107.

13) D. Gozzi, P.L. Cignini, R. Caputo, M. Tomellini, G. Balducci, G. Gigli, E. Cisbani, S. Frullani, F. Garibaldi, M. Jodice, G. M. Urciuoli (1995), *Helium-4 Quantitative Measurements in the Gas Phase of Pd-D_2O Electrolysis,* J. Electroanal. Chem., Vol. 380, pp. 109-116.

14) CISBANI, E.; URCIUOLI, G. M.; FRULLANI, S.; GARIBALDI, F.; GIULIANI, F.; GOZZI, D.; GRICIA, M.; IODICE, M.; LUCENTINI, M.; SANTAVENERE, F. (2001)*, A neutron detector for cold fusion experiments,* Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A, Vol. 459, pp. 247-255

15) F. DI PASCASIO, D. GOZZI, B. PANELLA, C. TRIONFETTI (2005), *H2 plasma for hydrogen loading in Pd,* Intermetallics, Vol. 11, 1345-1354

16) F. DI PASCASIO, D. GOZZI, B. PANELLA, C. TRIONFETTI (2005), *Pd/H system in H_2 plasmas*, J. Appl. Phys., Vol. 97, pp. 043304,1-11.

17) BALDI, F. DI PASCASIO, D. GOZZI (2006)*, H_2 negative corona discharge on Pd/H system at low pressures,* Appl. Phys. Lett., Vol. 89, pp. 051918-20

5.5 Studio delle LENR presso l'Accademia Navale di Livorno

LINO DADDI
Accademia Navale - Settore Fisica - Livorno

Fino dai primi anni '90 il Gruppo diretto dal prof. Lino Daddi ha seguito gli sviluppi della ricerca. Sono state prese varie iniziative, e sono state studiate varie ipotesi teoriche. L'attività ha riguardato sia la fusione fredda vera e propria (con la partecipazione del deuterio), e reazioni LENR (dell'idrogeno leggero, essenzialmente con la partecipazione di elettroni).

Nel marzo 1993 fu organizzato presso l'Accademia Navale un convegno denominato *Incontro con la Fusione Fredda.* Vi parteciparono, fra gli altri, due dei principali protagonisti italiani: Francesco Celani e Francesco Scaramuzzi. Sulle reazioni a freddo dell'idrogeno leggero ci fu una comunicazione di Lino Daddi, nella quale, in particolare, veniva discussa la possibilità che fosse generato calore dalla fusione p+d.

Nel settembre 1994 lo stesso Daddi partecipò con una analoga comunicazione ad una Conferenza Internazionale sul tema *Fusione Fredda ed Energia Nucleare* tenuta a Potenza. Nella stessa occasione Giuliano Preparata espose una rassegna generale sullo stato della Fusione Fredda.

Negli stessi anni c'era stata un'attiva collaborazione nel cosiddetto "Esperimento di Siena" nel settore dell'amplificazione dell'energia. La tecnica era stata ideata dal prof. Piantelli, di quell'Ateneo; ai suoi primi esperimenti ha partecipato anche il prof. Daddi. La produzione di calore era stimolata da variazioni di temperatura del sistema Ni/H, ed era accompagnata da emissione di neutroni e radiazione gamma.

Successivamente a Livorno fu studiata attentamente la descrizione degli esperimenti effettuati da don Carlo Borghi in Brasile (presso il Centro nucleare CENUPFE dell'Università di Recife) nei quali risultarono radioattivati molti tipi di rivelatori di neutroni, la cui generazione era attribuita alla reazione p+e in un plasma freddo di idrogeno naturale.

Daddi nel frattempo si era accorto che modalità comuni agli esperimenti di don Borghi e ad altre sperimentazioni LENR potevano essere spiegate pensando, come ipotesi di lavoro, che temporanee, anomale associazioni di un protone e di un elettrone, atomi di idrogeno fortemente compatti, precedessero le reazioni nucleari vere e proprie.

A quelle associazioni fu attribuita la denominazione di neutrone virtuale, ma, per i casi in cui la loro vita sembrava di maggiore durata, Daddi propose il nome generale di miniatomi. I miniatomi dell'idrogeno erano già stati denominati "hydrex" da Dufour e "hydrini" da Mills.

Nell'intento, poi, di disporre di una più ampia base di sostegno teorico, furono ipotizzate catene di "duplici catture", cioè catture di protoni seguite da catture di elettroni orbitali da parte dei nuclei che avevano catturato i protoni, restando, per questa prima cattura, in stato eccitato,

Tutte queste ipotesi furono esposte nei lavori che Daddi pubblicò su Infinite Energy e su Fusion Technology (ved. bibliografia).

Bibliografia

Le comunicazioni del Convegno di Livorno furono raccolte in una pubblicazione della Collana Scientifica dell'Accademia Navale. Quelle del Convegno di Potenza furono pubblicate nel n° 3 (luglio-settembre 1994) della rivista *21mo Secolo*.

L'esperimento di Siena fu descritto in vari articoli su *Il Nuovo Cimento*. In particolare per le emissioni nucleari in "Neutron Emission in Ni-H systems" , Vol. 112 A pag 921

Per i neutroni virtuali ed i miniatomi :

- *On the Possible Role of Virtual Neutrons in Cold Fusion* – Infinite Energy- 35,58 (2001)
- Proton-Electron Reactions as Precursors of Anomalous Nuclear Events – Fus.Technol. 39,249 (2001)

Per la duplice cattura:

- *Two-fold Capture of Miniatoms May Justify Many LENR Reactions* – Infinite Energy 47, 22 (2003)
- *Reazioni Neutroniche in Esperimenti LENR* – su Workshop TESMI Proc. - Lecce 2004 - pag.1

CAPITOLO 6
RICERCA NEI LABORATORI INDUSTRIALI

(A cura di **SERGIO MARTELLUCCI**)

6.1. Introduzione

L'industria italiana è stata, ed è ancora, interessata alla ricerca dell'effetto elettrochimico di Fleischmann e Pons anche e principalmente per la sua applicazione come potenziale alternativa di sorgente energetica rinnovabile per contrastare la scarsità di energia nel mondo e le variazioni climatiche prodotte dall'uso di combustibili fossili.

Nei Capitoli precedenti sono stati evidenziati nei contributi di vari autori di ENEA, INFN e di varie Università, i rapporti di collaborazione con molte industrie in Italia ed all'estero.

In questo Capitolo sono riportati, a titolo di esemplificazione di questo interessante fenomeno di forte interesse industriale ad un settore di ricerca ancora lontano dall'applicazione, di: Pirelli Labs SpA (www.pirelli.it); STMicroelectronics (www.st.it); e, ORIM (www.orim.it).

L'indicazione dei siti è riportata per facilitare il lettore interessato ad acquisire i dettagli societari di queste Aziende.

6.2. L'attività del Gruppo Pirelli nel campo della Fusione Fredda

FABIO FONTANA, LUIGI GAMBERALE, DANIELE GARBELLI
Pirelli Labs SpA - Milano

Il gruppo Pirelli (prima come Pirelli Cavi e Sistemi e successivamente come Pirelli Labs) si è interessato di fusione fredda sin dall'inizio di questa controversa ricerca ed ha mantenuto una piccola ma significativa presenza in quest'area di ricerca di base.

Dopo una prima fase di *scouting*, nel 1995 Pirelli iniziò una collaborazione col gruppo di Giuliano Preparata, con l'obbiettivo di analizzare e verificare i suoi risultati sperimentali in questo campo.

Allo stesso tempo, il gruppo presso i nostri laboratori di ricerca analizzò dettagliatamente il modello teorico sviluppato e proposto da Preparata, basato sull'elettrodinamica quantistica coerente (c-QED)[(1)], che fu infine valutato come sostanzialmente corretto e degno di ulteriori approfondimenti.

Sebbene questo lavoro preliminare non desse origine ad immediati sviluppi industriali, a causa della persistente mancanza di completa riproducibilità sperimentale, Pirelli mantenne il feeling che la c-QED fosse la strada giusta per comprendere questo elusivo fenomeno e continuò un piccolo programma di ricerca su questa linea.

Nel campo della calorimetria su celle elettrolitiche Pirelli replicò, tra il 1997 e il 1999, alcuni dei risultati in celle elettrolitiche "alla Preparata", evidenziando dei piccoli (<10%) ed erratici eccessi di calore.

Tutte le misure vennero realizzate per mezzo di un calorimetro a flusso appositamente sviluppato. Pirelli ha sempre evitato l'utilizzo di metodi di misura indiretta, quali la calorimetria isoperibolica, allo scopo di avere risultati più robusti e di facile interpretazione.

Parallelamente Pirelli continuò il lavoro teorico, estendento il modello di Preparata e verificandone la correttezza.

Negli anni successivi, visto che il fenomeno della fusione fredda non era abbastanza sotto controllo per assicurare una sufficiente riproducibilità sperimentale, si passò ad un'analisi sperimentale del caricamento di idrogeno/deuterio nel palladio, seguendo il metodo sviluppato dal gruppo di Francesco Celani presso l'INFN.

L'obiettivo, raggiunto, era quello di ottenere con buona riproducibilità fattori di caricamento elevati, prossimi a [H]/[Pd]~1[(2)].

Un originale misura fu quella del calore specifico dell'idruro di palladio[(3)] che evidenziò, come accade a diverse altre quantità fisiche, una significativa variazione ad alto caricamento in corrispondenza di un'ipotetica "fase gamma" ([H]/[Pd]~0,8) del palladio carico di idrogeno, sottolineando così ulteriormente l'ipotesi di una "nucleazione" di una fase coerente.

Dopo il 2001, le attività sulla fusione fredda declinarono progressivamente a causa delle crescenti difficoltà del settore Ricerca e Svilupo.

Dal 2005, Pirelli è coinvolta in una ricerca triennale congiunta con ENEA, allo scopo di replicare i risultati sperimentali del gruppo di Vittorio Violante. In particolare si vuole studiare, ed eventualmente ottimizzare, l'effetto di uno stimolo laser all'interno di una cella elettrolitica.

Bibliografia

1) GIULIANO PREPARATA – *QED coherence in matter*. World Scientific (1995).

2) D. AZZARONE, F. FONTANA, D. GARBELLI – *Hydrogen/deuterium loading in thin palladium wires*. Proceedings of the 8th International Conference on Cold Fusion (2000), pp.199-204.

3) F. FONTANA, D. GARBELLI, G.PIANA – M*easurement of heat capacity of* PdH_x. Proceedings of the 9th International Conference on Cold Fusion (2002), pp.105-108.

Nota: tra ENEA e Pirelli Labs esiste un protocollo di intesa che riguarda diverse linee di ricerca. Una di queste è la fusione fredda. Pirelli era interessata a replicare gli esperimenti svolti a Frascati con i materiali messi a punto in ENEA (già usati con successo da Energetics ed SRI). L'accordo termina alla fine del 2008, ma si presuppone che le attività in Pirelli riguardanti la ricerca sulla fusione fredda siano in "*stand-by*" già dalla fine del 2007 (*a cura di Vittorio Violante)*

6.3. L'attività nel campo della fusione fredda in STMicroelectronics

UBALDO MASTROMATTEO
STMicroelectronics

Introduzione

In questo paragrafo sono riportate le comunicazioni più significative riguardanti l'attività svolta in ST a partire dal 1994 ad oggi, che prosegue a basso profilo, fin tanto che la fenomenologia non abbia dimostrato di avere i requisiti di applicabilità a livello industriale.

Per quanto riguarda l'evoluzione storica degli studi e delle attività di laboratorio gli eventi principali si possono sintetizzare in quanto segue:

1994 - Il contenuto di idrogeno in alcuni dei film dielettrici utilizzati nei processi di fabbricazione dei microchip, che causa problemi di affidabilità in alcuni componenti integrati, sembra essere interessante per la costruzione di una cella miniaturizzata non basata su elettrolita liquido, ma solido, per l'attivazione di fenomenologie ascrivibili alla Fusione Fredda.

1995 - In ST viene progettata una struttura per la verifica su strati molto sottili di Nichel degli effetti di assorbimento di idrogeno nella matrice metallica.

1996 - Vengono avviati esperimenti su dispositivi in silicio contenenti la struttura a film sottile con risultati molto incoraggianti.

1997 - Partecipazione al workshop (Asti) sulle anomalie di comportamento dell'idrogeno nei metalli.

1998 - Partecipazione a ICCF7 di Vancouver e presentazione dei risultati della sperimentazione di cui sopra.

2000 - Partecipazione a ICCF8 di Lerici dove viene presentata una possibile evoluzione dei risultati sperimentali ottenuti in precedenza in un "Amplificatore di energia". In realtà i tentativi di scalare in alto i risultati ottenuti nel 1996 avranno esito incerto, anche se il concetto generale esposto nell'idea dell'amplificatore, rimane comunque valido.

2004 - A partire dal 2000 inizialmente si tenta di scalare in alto i risultati sperimentali del 1996 per dotare l'amplificatore di energia della parte di "reattore" a Fusione Fredda. Viste le difficoltà vengono approfonditi alcuni aspetti teorici relativi all'attività di altri ricercatori, anche del passato, per cercare di capire quali possono essere le circostanze e la fisica implicata in simili anomalie. Si tenta di riprodurre i risultati sperimentali ottenuti dal fisico don Carlo Borghi (1910-1984) a Recife in Brasile sui neutroni generati da un plasma freddo di idrogeno. Si partecipa alla conferenza di Marsiglia ICCF11 dove viene presentata l'attività fatta con l'Università di Lecce sugli effetti di trasmutazioni in film sottili di palladio sottoposti ad eccitazione mediante laser.

2007 - Dal 2004 ad oggi proseguono le attività di approfondimento sul ruolo delle strutture a film sottile o nella forma di nanoparticelle per la realizzazione di piccoli reattori a fusione fredda. In collaborazione con L'Università di Lecce (Prof. Nassisi) e l'INFN di Frascati (gruppo diretto dal Dr. Celani) si ottengono interessanti effetti di trasmutazione ed eccessi di calore che fanno sperare in progressi rapidi nello sfruttamento pratico delle fenomenologie legate o derivate dalla cosiddetta Fusione Fredda.

Nel seguito sono riprodotti:

1. il sommario dell'articolo "Energy amplifier device";
2. l'articolo Modification of pd-H_2 and Pd-D_2 thin films processed by He-Ne laser";
3. il sommario della pubblicazione "Very thin nickel layers heated over Curie temperature show high temperature spots in hydrogen loading experiments"; e,
4. il sommario di una nota del Prof. don Carlo Borghi (1910-1984) "Gli stati stazionari del sistema protone-elettrone in un continuo non euclideo" riproposta da U. Mastromatteo

1
AN ENERGY AMPLIFIER DEVICE

UBALDO MASTROMATTEO
STMicroelectronics

Abstract[1]

After more than ten years from the beginning of the experiments, in laboratories of many countries, aimed to confirm the phenomenology claimed by Fleischmann and Pons in March 1989, in which the lattice of hydrogen-loaded metals nuclear reactions can take place at temperatures not above a few hundreds degrees centigrade; the scientific certainty of this possibility has been achieved.

Actually, the work of cold fusion experimenters is now mainly devoted to finding the best technological approach to activate these phenomena in a reproducible, efficient, clean way. A more attractive approach uses a simple nickel layer at high temperature in a hydrogen environment.

Many experiments using this kind of approach demonstrated a very interesting correlation between excess heat coming from hydrogen-loaded nickel and electrical, thermodynamic conditions of the system.

Using a peculiar system configuration devoted to the qualitative study of these phenomena, in recent experiments it was possible to evaluate approximately the average micro-system amplification. Moreover, in the spots where excess energy melted the material, the amplification was estimated to be larger than 10.

Under way is an effort to change the system to control, with a suitable feedback block, the local amplification values, in order to extend them in a stable way to the main part of the active material.

A general partitioning of the Energy Amplifier System is showed in figure 1.

[1] Paper contributed to ICCF8 (Lerici, Italy 2000) and published in Conference Proceedings SIF Vol. 70 (2000)

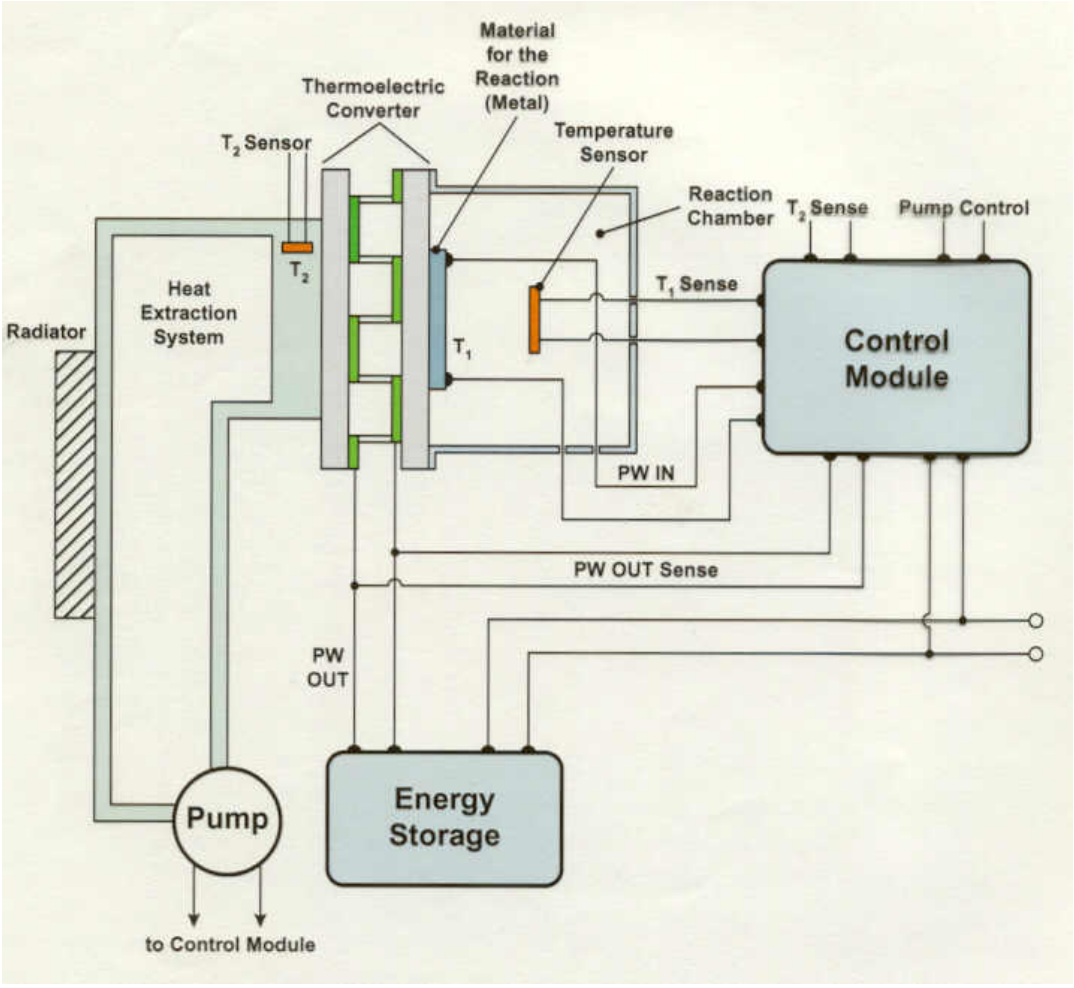

Fig. 1 - The energy amplifier & other control modules

2
MODIFICATION OF Pd-H_2 AND Pd-D_2 THIN FILMS PROCESSED BY HE-NE LASER

VINCENZO NASSISI, GIUSEPPE CARETTO, ANTONELLA LORUSSO
Laboratory of Applied Electronics, Department of Physics, INFN,University of Lecce, Lecce-I

DANIELA MANNO, LIA FAMÀ, GIOVANNI BUCCOLIERI, ALESSANDRO BUCCOLIERI
Department of Material Science, University of Lecce, Lecce-I

UBALDO MASTROMATTEO
STMicroelectronics

Abstract

In this work we have performed experiments of absorption of hydrogen and deuterium gas by Pd thin films and we have studied the behavior of these samples compared with non processed ones. We have also employed, during the treatment, a continuous wave He-Ne laser to irradiate the samples inside the chamber in order to increase the gas absorption. By a scanning electron microscope (SEM) and an electron probe micro analyzer (EDX) we have observed, on the surface of the treated samples, the presence of structures like spots and inside them different elements from Pd were found. By these results we can say that the gas loading has been a very important condition to produce "transmutation" elements and the laser action has been very interesting in order to increase the morphological modifications of the treated samples.

Introduction

In March 1989 M. Fleischmann and S. Pons [1] reported that a great excess of enthalpy, recorded with a weak amount of radioactivity, had been detected in electrolytic cells with Palladium (Pd) cathodes during the electrolysis of D_2O, achieving a critical threshold of the stoichiometric ratio $x=[D]/[Pd]$ of Deuterium in Pd. The main point at issue was that the claimed excesses of enthalpy were consistent only with a nuclear process (fusion of Deuterons) and that such a process at ambient temperature and without the emission of a adequate number of neutrons was considered to be inconsistent with modern nuclear science.

In the following years many works about the production of excess heat and Helium have been published [2, 3], and many devices to improve the stoichiometric ratio x have been studied [4]. Possible theoretical explanations of the reported phenomena were proposed [5, 6] during these years but we are far to justify completely all obtained results jet.

Recently the gas loading method became a very interesting tool to obtain adequate absorption of D or H gases inside Pd metallic lattice accompanied with the possibility to keep low the contamination grade during the experiment [7]. Important results were achieved by this method and particular attention was made to reproduce transmutation effects [8].

In this work our attention is voted to study the transmutation phenomenon utilizing Pd film samples treated by gas loading. We have also implanted B in these samples in order to try to have control of the eventually nuclear processes such as Iwamura et al. have done. The treatment of the samples was combined with a continuous wave He-Ne laser light in order to improve the gas loading inside Pd thin films as in previous works was studied [9].

Experimental set-up and results

We have realized, by thermal evaporation technique, Pd thin films of 500 nm of thickness deposited on Si wafers of about 1 cm^2 in surface. A 50 nm Ti layer was used to improve the adhesion between the substrate and the Pd layer. These samples were implanted with B ions; a 150 keV accelerating voltage allowed to reach the maximum ion concentration at 158 nm depth in the palladium layer.

Fig. 1 shows the distribution of B ions versus target depth.

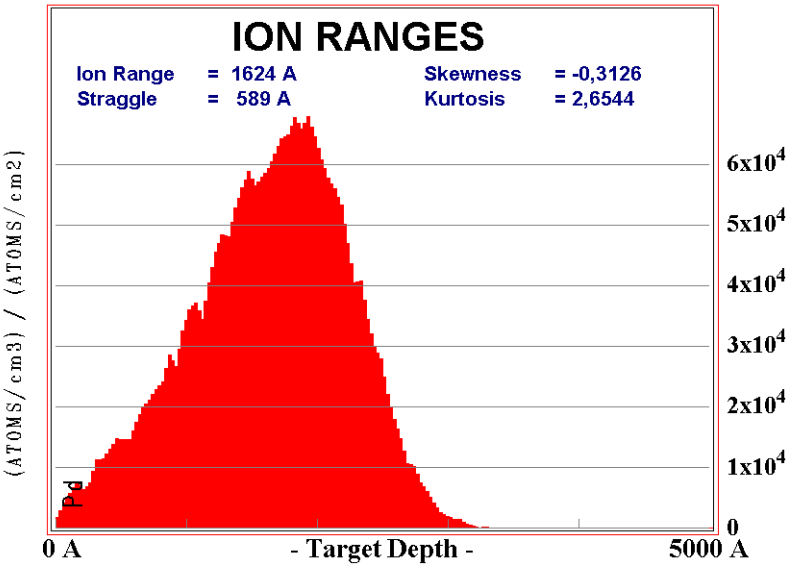

Fig. 1 - Boron ions distributions vs. target depth

They were placed in cylindrical stainless steel chambers of about 250 cm^3 in volume. Fig. 2 shows a photo of the experimental set-up.

Fig. 2 - Photo of experimental set-up

The chambers were equipped at least of a quartz window in order to allow the laser beam to go until the samples. To avoid contaminations, the chambers were carefully cleaned with acetone and dried in nitrogen flux before the experiment beginning. Subsequently a pair of Pd/Si samples has been placed inside the chambers filled with H_2 or D_2 gas to a maximum pressure of 4 bar. In Fig. 3 we have a schematic drawing of a chamber.

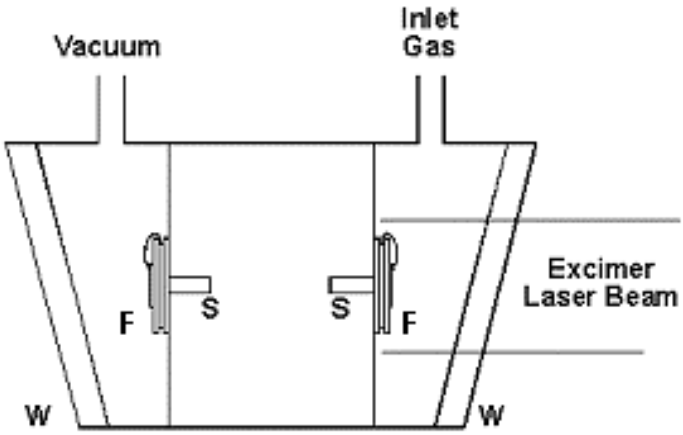

Fig. 3 - Schematic drawing of a chamber. W: quartz windows; S: supports where the samples are fixed; F: film samples

The treatment of the samples was employed with gas loading and only one sample for each chamber was irradiated by a cw He-Ne laser (λ=648 nm) from July 16th to September 29th 2004 at a laser power density of about 2 mW/cm^2.

After the treatment ending, the samples were analysed by a Scanning Electron Microscope (SEM) and an EDX micro-analyser. Different behaviors were revealed for samples kept in air, laser treated and no-laser treated: so, about the samples kept in air, the film surface was smooth, it looked like a mirror; instead, the samples treated and no-treated by laser showed morphological modifications of the Pd-film due to the gas absorption. The morphological modifications consisted in formation of spots with dimension of 1-50 μm after gas loading. Fig. 4 shows an example of spots on the surface of a sample of palladium implanted with boron, loaded by D_2 gas and not irradiated.

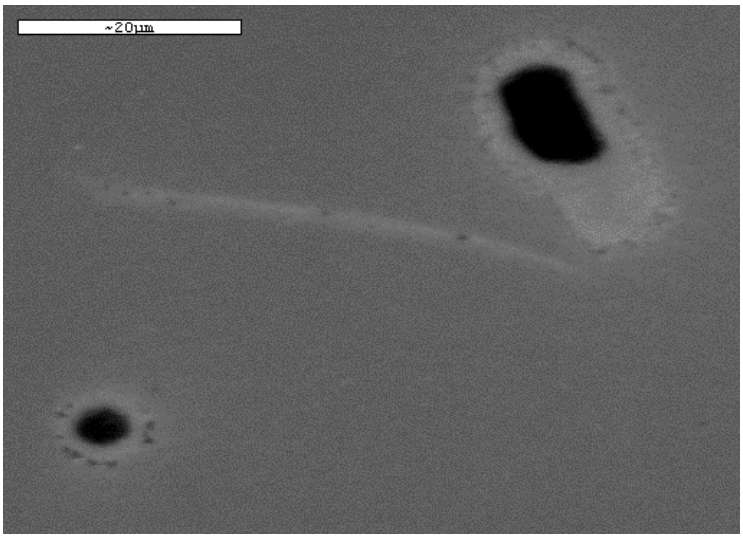

Fig. 4 - Spots on the surface of a sample with 76 days of treatment (by D_2 gas only)

By EDX analyser, we have investigated inside the spots and we have found the presence of new elements such as C, O, Ca, Fe, Al, S, Mg, K and Na. In Fig. 5 an example of EDX spectrum of a Pd sample with 76 days of treatment is reported. It is possible to observe the presence of many "new" elements which were inexistent before the treatment.

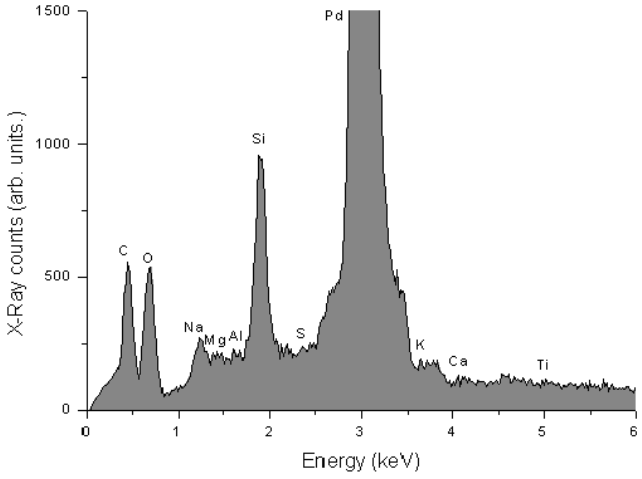

Fig. 5 - EDX spectrum of a sample with 76 days of treatment (by D_2 gas only). We can observe the presence of the following elements: C, O, Ca, Al, S, Mg, K, Na

In addition, by He-Ne laser action, we have found a larger number of spots and a larger number of new elements. Fig. 6 shows a SEM micrograph of a sample processed by H_2 gas and laser; Fig. 7 shows EDX spectrum obtained from one spots of the sample: the new elements were: C, O, Ca, Fe, Al, S, Mg, K, Na, F, Cr, Mn, Fe, Co, Ni.

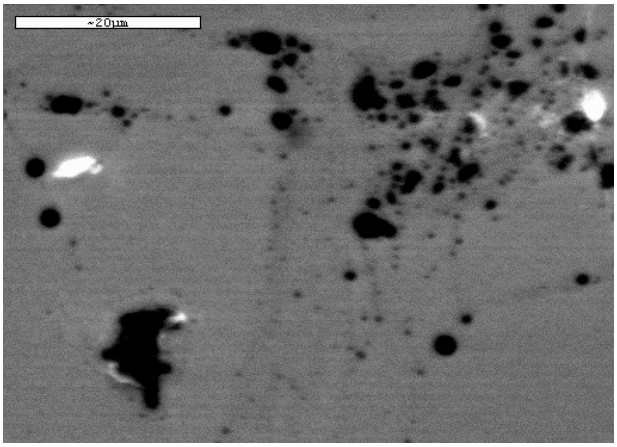

Fig. 6 - Spots on the surface of a sample with 76 days of treatment by H_2 gas and by He-Ne laser action)

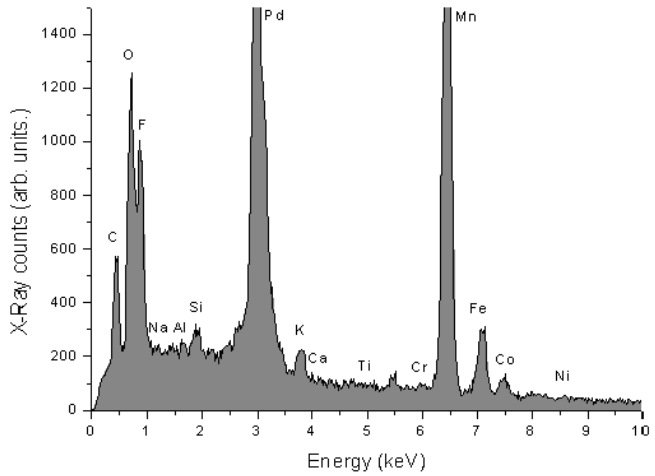

Fig. 7 - EDX spectrum of a sample with 76 days of treatment (by H_2 gas and He-Ne laser). We can observe the presence of the following elements: C, O, Ca, Fe, Al, S, Mg, K, Na, F, Cr, Mn, Co, Ni

In Tab.1 the list of the new elements is reported for every experimental case of the sample treatment. We can observe that the combination between H_2 gas loading and laser action on the treatment of the samples is very interesting in order to produce many transmutation elements; nevertheless the results with D_2 gas loading are also not negligible about the production of new elements, but there are no evident differences between laser and no laser treated samples. The laser action is also very important to increase the spot density on the surface of the treated samples. All new elements were found inside the spots systematically but none of these seems to be generated from a particular nuclear reaction between B and D_2 and H_2. These experiments confirm the reproducibility of the transmutation phenomenon but we are still far to make clarifications about the mechanisms which happened inside the crystalline lattice of Pd samples.

H_2		**D_2**	
Laser	**No-laser**	**Laser**	**No-laser**
Si	Si	Si	Si
Pd	Pd	Pd	Pd
Ti	Ti	Ti	Ti
C		C	C
O		O	O
Ca		Ca	Ca
K		K	K
Na		Na	Na
Al		Al	Al
Cr		Mg	Mg
Fe			S
Co			
Ni			
Mn			
S			
F			

Tab. 1 - The main detected elements in every experimental case

References

[1] M. FLEISCHMANN, S.J. PONS, J. of Electroanal. Chem. **261**, 301 (1989).

[2] A. B. KARABUT, ICCF9, Beijing, China, May 19-24, 151 (2002)

[3] F. CELANI, A. SPALLONE, P. TRIPODI, A. PETROCCHI, D. DI GIOACCHINO, P. MARINI, V. DI STEFANO, S. PACE, A. MANCINI, Phys. Lett. A **214**, 1 (1996)

[4] A. DE NINNO, A. LA BARBERA, V. VIOLANTE, Phys. Rev. B **56**, 2417 (1997).

[5] M. FLEISCHMANN, S. PONS, G. PREPARATA, Nuovo Cimento **105A**, 763 (1992).

[6] A. TAKAHASHI, ICCF9, Beijing, China, May 19-24, 343 (2002).

[7] F. SCARAMUZZI, *Survey of Gas Loading Experiments, in Second Annual Conference on Cold Fusion,* "The Science of Cold Fusion", Como, Italy (1991).

[8] Y. IWAMURA, T. ITOH, M. SAKANO, S. SAKAI AND S. KURIBAYASHI, ICCF-10, Cambridge, MA, Aug 24-29, 68 (2003).

[9] V. NASSISI, Fusion Technol. **33**, 468 (1998).

3

VERY THIN NICKEL LAYERS HEATED OVER CURIE TEMPERATURE SHOW HIGH TEMPERATURE SPOTS IN HYDROGEN LOADING EXPERIMENTS

UBALDO MASTROMATTEO
STMicroelectronics

Abstract[2]

With the purpose to study the behavior of thin Nickel layers in presence of hydrogen, a prototype microcell has been designed using a silicon chip of about 6 mm2 size. On one side of the chip it has been realized a structure including a low electrical resistance polysilicon heater (anode), a high Hydrogen content dielectric layer and a 0.1 □m thick Nickel resistor (cathode).

Several experiments using that cell prototype have pointed out that it is possible in certain conditions of temperature and electrical biasing, the activation into the metallic lattice of Hydrogen absorption able to modify the electrical resistivity of the layer and also generating large fusion spots in the Nickel layer due to high and fast temperature rising. This high temperature is not explained by chemical exothermic reactions or by external power input instability.

If those should be led, as calculation about specific power needed to have such fusion spots say, to *cold fusion phenomena*, then a different configuration of the cell, more suitable for heat extraction and robustness of Nickel layer should be easy to prepare for excess power measurements and quantification.

We are actually working on the design of a new cell configuration with a completely integrate calorimeter (microbolometer) able to detect any small temperature increase (even locally) through thermal emissions measurements. This control system may be in the same cell environment and electrically connected to the input power control system to guarantee maximum system stability. The actual cell dimensions are in the range of a small integrate silicon chip, because the purpose of the experiments is to realize a power generation device suitable for portable electric apparatus, but it is in principle completely scaleable for high power generation.

[2] Paper contributed to the 3rd Asti Workshop and publisched in Conference Proceedings SIF Vol. 64 (1999)

4
GLI STATI STAZIONARI DEL SISTEMA PROTONE-ELETTRONE IN UN CONTINUO NON EUCLIDEO

CARLO BORGHI
Università di Milano

Riproposta da **UBALDO MASTROMATTEO**
STMicroelectronics

Sommario

Stabilite le trasformazioni dell'equazione di Schrödinger in un continuo localmente non-euclideo, si mostra che da esse deriva l'esistenza di una barriera dell'atomo di idrogeno. Inoltre si mostra l'esistenza di stati stazionari dell'elettrone all'interno di tale barriera, e si mostrano le caratteristiche trasformazioni che queste particolari condizioni apportano sia all'elettrone sia al sistema elettrone interno-protone.

Commento per i lettori

La nota originale è costituita da un documento dattiloscritto (con le formule aggiunte a mano) di quindici pagine di cui, durante il lavoro di trascrizione, sono state corrette un paio di imprecisioni nelle formule dell'originale (essenzialmente la mancanza di segni meno all'esponente), ma senza creare alcun effetto sullo sviluppo dei passaggi successivi, segno evidente che anche l'originale è derivato da una elaborazione molto ricca di dettagli e passaggi intermedi di cui non si ha traccia, ma che si può ritenere sottoposti ad una verifica molto accurata da parte di don Borghi stesso. La data del documento originale è dicembre 1942 e in quel periodo don Borghi era professore di Fisica Teorica e Statistica presso la Regia Università di Milano.

L'approccio originale oltre ad essere interessante di per sé, riveste una grande attualità per le possibili spiegazioni di fenomenologie nucleari anomale per la quali si ipotizza la formazione di particelle neutre a partire da isotopi dell'idrogeno. La trattazione ne deriva l'esistenza utilizzando strumenti matematici validi anche oggi utilizzandoli con rigore. Inoltre, l'ipotesi della non-euclidicità dello spazio ci sembra del tutto condivisibile se si accetta la validità della Teoria della Relatività Generale.

6.4. La Fusione Fredda presso ORIM SpA

ALFREDO MANCINI
ORIM SpA - Macerata

La Orim SpA, fin dalla sua fondazione, nel 1982, si è specializzata nel recupero dei metalli pregiati e nella successiva loro rilavorazione.

Tutti i recuperi vengono effettuati, operando con tecnologie chimiche e/o elettrochimiche, solo ed esclusivamente sui rifiuti che possono contenere tali metalli.

Esempi di tali attività sono il recupero di Ag dal settore cine-foto-radiografico o da componenti elettromeccanici; il recupero di Pd da catalizzatori dell'industria chimica, da elementi di protesi dentali e/o da scarti di lavorazione odontotecnica; il recupero di Au da componenti elettronici.

Nel 1992 il ns. Amministratore, leggendo un articolo sul Sole 24 ore relativo all'attività del Dott. Francesco Celani, presso l'INFN di Frascati, sulle problematiche della fusione fredda, scoprì che i fili di Pd che servivano per tali ricerche venivano acquistati in Giappone.

Poiché l'Amministratore è Ingegnere Chimico con specializzazione in Elettrochimica, tale notizia suscitò notevolissimo interesse, anche perché presso lo stabilimento Orim venivano già prodotti fili e tubi in metalli preziosi.

Decise perciò di contattare direttamente l'INFN per fornire gratuitamente semilavorati per le prove.

La collaborazione iniziò dopo che il Dott. Celani venne a visitare l'azienda e poté constatare la qualità delle lavorazioni di trafilatura, sia per fili che per tubi senza saldatura, costruiti con metalli puri preziosi e/o loro leghe.

Le prime forniture gratuite dei semilavorati, soprattutto in fili di Pd avente titolo 999.8 millesimi, produssero risultati entusiasmanti sia per la ripetitività degli esperimenti che per le alte ipercariche di H_2 nel palladio.

A seguito di tali risultati vennero stipulati diversi contratti di ricerca, per più anni, sia con INFN che con INFM.

Da tali forniture iniziali, la collaborazione venne ampliata fornendo diversi supporti tecnici, analitici e/o documentali.

È importante far notare e riconfermare che i semilavorati inizialmente consegnati provenivano tutti dal recupero dei metalli da rifiuti, confermando perciò che l'attività di gestione rifiuti non solo è benefica per l'Ambiente, ma anche per l'Economia ed altresì anche per la Ricerca.

Tale attività di supporto alle ricerche dell'INFN ha comportato la possibilità, per la Orim e per il suo Amministratore Alfredo Mancini, di apparire, anche se per piccoli contributi, tra gli autori degli innumerevoli lavori e/o abstract che il dott. Francesco Celani ha pubblicato in tutti questi anni.

Oltre a queste ricerche la Orim ha allargato la sua collaborazione anche ad altre attività.

Sulla scia dei successi ottenuti presso la Mitsubishi dal Dott. Yasuhiro Iwamura (riguardo l'apparente "trasmutazione" dello Stronzio e Cesio naturali, opportunamente depositati su substrato di Palladio, in un particolare "reattore" alimentato a Deuterio gas), a suo tempo, la Orim SpA ha provveduto a richiedere l'inserimento (quale azienda con know-how specifico nel trattamento-purificazione del Palladio e sue leghe) nel gruppo di ricerca italo-giapponese volto ad esplorare la possibilità di estendere i fenomeni di trasmutazione su citati anche agli isotopi radioattivi della Stronzio e Cesio.

Il progetto è stato denominato ***scorie zero***.

Il gruppo di lavoro, per quanto riguarda l'Italia, è coordinato dal Dott. Francesco Celani.

La ORIM, azienda di medie dimensioni, è una "realtà" avanzata ed orientata ai nuovi sviluppi tecnico-scientifici.

Scopo principale della ORIM è quello di recuperare o di smaltire, anche con tecnologie innovative, qualsiasi genere di rifiuto che provenga dalle attività industriali. L'interesse è tanto più spinto, anche a livello di investimenti, tanto più è difficile risolvere il problema del rifiuto.

Con la stessa logica, in Azienda si ritiene che le scorie nucleari debbano essere considerate equivalenti ai "rifiuti" provenienti dalle attività nucleari e quindi di interesse.

La ORIM crede molto nell'impegno lavorativo ed ha verificato elevate capacità tecnico-scientifiche negli esperimenti condotti dal Dott. Francesco Celani unitamente a tutto il suo team ed ha più volte riscontrato inusuali livelli di innovatività nel progettare, e soprattutto "far funzionare", esperimenti particolarmente complessi e/o delicati nel team INFN.

Attualmente gli sforzi aziendali sono rivolti al recupero dei metalli strategici (Mo, V, Co, Ni)

presenti nei catalizzatori esauriti dell'industria chimica e petrolchimica; in tali studi l'Azienda è supportata dall'Università dell'Aquila, Facoltà di Ingegneria Chimica.

Edito dall'ENEA
Unità Comunicazione e Rapporti con il Pubblico
Lungotevere Thaon di Revel, 76 – 00196 Roma
www.enea.it

Edizione del volume a cura di Giuliano Ghisu
Copertina: Bruno Giovannetti
Stampa: Laboratorio Tecnografico del Centro Ricerche Frascati
Finito di stampare nel mese di febbraio 2009